

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ferhat Abbas de Sétif - UFAS (Algérie)

Thèse

Présentée à la Faculté des Sciences

Département d'Informatique

En vue de l'obtention du diplôme de

Doctorat en Sciences

Option : Informatique

Par

Djamila MECHTA

Thème

**Plate-forme pour les travaux pratiques
à distance sur le Web**

Soutenue le : 16 Décembre 2012 devant la commission d'examen :

<i>Président</i>	Salim CHIKHI	Prof., Université de Constantine
<i>Examineurs</i>	Abdelmalek AMINE	MC., Université de Saida
	Makhlouf ALIOUAT	MC., Université de Sétif
	Abdellah BOUKERRAM	MC., Université de Sétif
<i>Rapporteur</i>	Mahieddine DJOUDI	MC., Université de Poitiers
<i>Co-Rapporteur</i>	Saad HAROUS	MC., Université de UAEU

Remerciements

Toute la gratitude et le merci à ALLAH notre créateur qui m'a aidé tout le long de ce travail.

C'est avec un grand plaisir que j'apporte ce témoignage écrit de ma reconnaissance à tous ceux qui m'ont gratifié de leur soutien et de leur confiance tout au long de ce travail.

Je tiens à remercier en particulier Dr. Mahieddine DJOUDI, Maître de conférences à Poitiers (France) et Dr. Saad HAROUS, maître de conférences à UAEU (Université des émirats Arabes Unis), qui m'ont fait apprécier ce travail de thèse. Chacun m'a apporté toute sa rigueur scientifique et son esprit critique, et m'a permis de travailler dans de très bonnes conditions et d'approfondir plusieurs points de ce travail. Je leur témoigne ici toute ma reconnaissance et ma profonde gratitude.

Je remercie Dr. Salim CHIKHI, Professeur à l'université de Constantine, pour m'avoir fait l'honneur de présider mon jury.

Je remercie Dr. Abdelmalek AMINE, Maître de conférences à l'université de Saida, Dr. Makhlof ALIOUAT et Dr. Abdellah BOUKERRAM, Maîtres de conférences à l'université de Sétif, pour avoir accepté de juger mon travail.

Je voudrais remercier les enseignants du département Informatique de l'UFAS pour leur soutien et encouragement.

Mes vifs remerciements vont également au département Informatique de l'université de Sharjah (UAE) pour son accueil chaleureux et l'intérêt qu'il a porté à ma thèse.

Je remercie Dr. Yacine ATIF et Dr. Abderrahmane LAKAS, Maîtres de conférences à l'université d'UAEU, pour leur soutien ainsi que leur correction de mes productions scientifiques.

Je ne peux clore cette page de remerciements sans remercier mes proches. Je souhaiterais remercier tout d'abord mes chers parents, de m'avoir donné la possibilité de faire ce que je voulais, et pour leur soutien et affection. A tout mes frères et sœurs, ma famille et tous (tes) mes amis(es).

Résumé

Actuellement l'Internet permet de mettre en ligne des cours interactifs et des programmes complets de formation à distance et de les gérer sans grande difficulté. Bien que ces environnements de formation favorisent l'atteinte de plusieurs objectifs pédagogiques, la réalisation effective des expériences de laboratoire à travers le réseau n'est pas encore très répandue. Pourtant, dans de très nombreux domaines, notamment en sciences expérimentales, les séances de travaux pratiques (TP) sont complémentaires à tout enseignement théorique.

L'objet du travail consiste à concevoir et réaliser un prototype d'une plate-forme de type laboratoire virtuel pour la télé-expérimentation et la télémesure sur le web. Le système doit être conçu et réalisé pour permettre d'effectuer des télé-TP et d'effectuer des expériences en temps réel sur des dispositifs virtuels dans une des disciplines de sciences expérimentales. Les formateurs pourraient conduire la mise en œuvre de séances interactives d'instructions de TP à l'aide de scénarii appropriés

La conception d'un tel système se base sur la technique des agents. Sur un site ciblé, ces agents effectuent localement toutes requêtes et tous les traitements nécessaires, ce qui libère les réseaux des problèmes de congestion ou de fiabilité. Le laboratoire virtuel ainsi conçu est destiné essentiellement aux enseignants et aux apprenants en sciences expérimentales. Par ailleurs l'adaptation des expériences aux profils des apprenants, la personnalisation de l'environnement du travail de l'apprenant, l'interaction avec le cours et la prise en compte de la coopération et la communication constituent des pistes prometteuses du présent travail.

Une expérimentation d'usage avec les formateurs et les apprenants est nécessaire pour mieux justifier les propositions relatives à la démarche proposée et aux choix techniques d'implémentation du laboratoire virtuel.

Mots clés : Télé-TP, télé-expérimentation, télé-manipulation, télé-mesure, laboratoire virtuel, simulation distribuée, scénario pédagogique, formation à distance, assistance pédagogique, apprentissage coopératif, pédagogie par projet, systèmes multi-agents et université virtuelle.

Table des matières

TABLE DES MATIERES.....	I
LISTE DES FIGURES.....	VII
LISTE DES TABLEAUX.....	XI
INTRODUCTION GENERALE	1
INTRODUCTION.....	1
MOTIVATIONS.....	2
CONTRIBUTIONS	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
ORGANISATION DE LA THESE	7
CHAPITRE 1 : ENVIRONNEMENTS D'APPRENTISSAGE ET TELE-TP	9
1.1 INTRODUCTION	9
1.2 CONTEXTE GENERALE DES EIAH	10
1.2.1 De l'EAO aux EIAH	10
1.2.2 Les modes de formation.....	11
1.2.2.1 La FOAD	11
1.2.2.2 La FAD	12
1.2.2.3 La e-formation	13
1.2.2.4 La télé-formation	13
1.2.3 Situation de notre travail.....	13
1.3 ENVIRONNEMENTS D'APPRENTISSAGE DES TP/ TELE-TP	14
1.3.1 Les laboratoires traditionnels.....	14
1.3.1.1 Définition des Travaux Pratiques (TP).....	16
1.3.1.2 Typologie des TP.....	17
1.3.2 Les laboratoires à distance (Télé-Laboratoire).....	19
1.3.2.1 Les Travaux Pratiques et l'informatique.....	20

1.3.2.2	<i>Les Travaux Pratiques à distance (Télé-TP)</i>	21
1.3.2.3	<i>Apports des Télé-TP</i>	22
1.3.2.4	<i>Limites des Télé-TP</i>	22
1.3.2.5	<i>Typologie des situations</i>	23
1.3.2.6	<i>Les laboratoires réels à distance</i>	24
1.3.2.7	<i>Les laboratoires virtuels (LV)</i>	26
1.3.3	<i>Synthèse</i>	30
1.4	CONCLUSION	31
CHAPITRE 2 : PROPOSITION D'UNE ARCHITECTURE GENERALE DE CVL@B		33
2.1	INTRODUCTION	33
2.2	DU LABORATOIRE CONVENTIONNEL AU TELE-LABORATOIRE	33
2.3	CONTEXTE	35
2.4	VUE D'ENSEMBLES DE CVL@B	36
2.5	ARCHITECTURE DE CVL@B	39
2.5.1	<i>Système d'enregistrement</i>	40
2.5.2	<i>Système d'interactions</i>	40
2.5.3	<i>L'environnement 3D des Télé-TP</i>	42
2.5.4	<i>Système de collaboration</i>	42
2.5.5	<i>Système de gestion de contenus pédagogiques</i>	42
2.5.6	<i>Système de Supervision & contrôle</i>	44
2.5.6.1	<i>Le modèle de l'outil CVL@b-SCT</i>	45
2.5.7	<i>Système d'évaluation</i>	47
2.5.8	<i>Espace de stockage</i>	47
2.6	CONCLUSION	48
CHAPITRE 3 : ARCHITECTURE MULTI-AGENTS DU CVL@B-LMS		49
3.1	INTRODUCTION	49
3.2	ANALYSE, SPECIFICATION ET CONCEPTION DE CVL@B	50
3.2.1	<i>La phase d'analyse</i>	50
3.2.1.1	<i>Le diagramme hiérarchisé des objectifs</i>	52
3.2.1.2	<i>L'application des cas d'utilisation</i>	53

3.2.1.3	Diagramme de séquence	57
3.2.1.4	Le diagramme de rôles et les tâches concurrentes.....	66
3.2.2	La phase de conception.....	75
3.2.2.1	Le diagramme de classes d'agent	75
3.2.2.2	La construction des communications inter-agents.....	77
3.2.2.3	Architecture d'agent	79
3.2.2.4	Le diagramme de déploiement	81
3.3	CONCLUSION.....	83
CHAPITRE 4 : CVL@B-LCMS (SYSTEME DE GESTION DE CONTENUS PEDAGOGIQUES)		84
4.1	INTRODUCTION	84
4.2	LCMS-PWS	84
4.2.1	Modèle empirique d'une feuille de Télé-TP	84
4.2.2	Conception de la feuille de Télé-TP.....	85
4.2.2.1	Diagramme de cas d'utilisation.....	85
4.2.2.2	Diagramme de séquences.....	86
4.2.2.3	Diagramme de classes	88
4.2.3	Format interne d'une feuille de Télé-TP.....	90
4.2.3.1	DTD : Définition de Type de Document.....	91
4.3	LCMS-EL (ELECTRONIC LIBRARY)	91
4.3.1	La maîtrise de l'information	92
4.3.2	La modélisation objet d'une bibliothèque électronique.....	93
4.3.2.1	Diagramme de cas d'utilisation.....	93
4.3.2.2	Diagramme de classes	94
4.3.2.3	Diagramme de séquence	95
4.3.2.4	Diagramme de collaboration	98
4.3.3	L'apport du modèle objet à la bibliothèque électronique	101
4.3.4	Structure XML pour le stockage des documents électroniques	101
4.4	MODELISATION DES RESSOURCES PERSISTANTES	102
4.4.1	Diagramme de classes association	102
4.5	CONCLUSION.....	103
CHAPITRE 5 : SYSTEME DE COLLABORATION DANS CVL@B.....		104

5.1	INTRODUCTION	104
5.2	PROBLEMATIQUE DE L'ENSEIGNEMENT COLLABORATIF DES TELE-TP	105
5.3	LES MODES DE COLLABORATION	106
5.3.1	<i>La division du travail.....</i>	107
5.3.1.1	<i>Collective (collaboration).....</i>	107
5.3.1.2	<i>Distribuée (coopération).....</i>	107
5.3.2	<i>La dimension espace/temps des interactions</i>	107
5.3.3	<i>Le nombre d'acteurs.....</i>	108
5.4	ARCHITECTURE DU SYSTEME DE COLLABORATION DE CVL@B.....	109
5.5	LA STRUCTURE MODULAIRE DE L'AGENT A_COORDINATEUR	110
5.5.1	<i>La gestion des groupes</i>	111
5.5.2	<i>Mise à jour et diffusion de l'état global des Workspace du groupe</i>	112
5.5.3	<i>Le partage du Workspace.....</i>	112
5.5.3.1	<i>Modélisation du fonctionnement de l'allocation de ressources par les réseaux de pétri.....</i>	112
5.5.3.2	<i>Matrice des objets virtuels</i>	114
5.5.3.3	<i>Typologie de situation</i>	114
5.5.3.4	<i>L'aspect dynamique de l'agent A_Coordinateur</i>	116
5.5.4	<i>Coordination des tâches</i>	116
5.5.5	<i>Outils de collaboration.....</i>	116
5.6	CONCLUSION.....	117
CHAPITRE 6 : CVL@B UN ENVIRONNEMENT D'UN L@BORATOIRE VIRTUEL COLLABORATIF		
.....		118
6.1	INTRODUCTION	118
6.2	ARCHITECTURE LOGIQUE DE L'APPLICATION	118
6.3	ACCES A CVL@B.....	120
6.4	SYSTEME DE GESTION D'APPRENTISSAGE (CVL@B-LMS).....	120
6.4.1	<i>Système d'enregistrement.....</i>	120
6.4.2	<i>Environnement de Télé-TP.....</i>	122
6.4.3	<i>Système de supervision et de contrôle.....</i>	124
6.4.4	<i>Système de collaboration.....</i>	128
6.4.5	<i>Outil d'assistance</i>	129

6.5	SYSTEME DE GESTION DE CONTENU PEDAGOGIQUE (CVL@B- LCMS)	129
6.5.1	<i>La feuille de Télé-TP (LCMS-PWS)</i>	129
6.5.2	<i>La bibliothèque numérique (LCMS-EL)</i>	130
6.6	CONCLUSION.....	132
CHAPITRE 7 : PROTOCOLE EXPERIMENTAL		133
7.1	INTRODUCTION	133
7.2	METHODE D'EVALUATION	133
7.3	PARAMETRES A EVALUER.....	134
7.4	EXPERIMENTATION	135
7.4.1	<i>Population</i>	135
7.4.2	<i>Conditions d'expérimentation</i>	136
7.4.2.1	<i>Structuration des groupes</i>	136
7.4.2.2	<i>Situation pédagogique (tuteur versus apprenant)</i>	136
7.4.2.3	<i>Le scénario pédagogique</i>	136
7.4.2.4	<i>Le matériel utilisé</i>	138
7.4.3	<i>Instrument d'évaluation</i>	138
7.4.4	<i>La fiabilité du questionnaire</i>	139
7.5	RESULTATS	139
7.6	DISCUSSIONS	142
7.7	CONCLUSION.....	143
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....		144
BILAN DES TRAVAUX ET APPORTS DE LA THESE		144
INTERET DU PROJET.....		146
CONCLUSION		147
PERSPECTIVES		147
BIBLIOGRAPHIE		149
LISTE DES PUBLICATIONS PERSONNELLES		159
PUBLICATIONS DANS DES REVUES INTERNATIONALES		159
COMMUNICATIONS DANS DES CONFÉRENCES INTERNATIONALES		159

COMMUNICATIONS DANS DES CONGRÈS NATIONAUX (AVEC COMITÉ DE LECTURE).....	160
ANNEXES.....	161
ANNEXE 1 : LA VERSION WEB DE CVL@B.....	161
ANNEXE 2 : ENVIRONNEMENT DE DEVELOPPEMENT.....	165
ANNEXE 3 : PARTIE DU CODE SOURCE DU SYSTEME.....	168
ANNEXE 4 : QUESTIONNAIRES	170
ANNEXE 5 : METHODOLOGIE MASE.....	174

Liste des figures

Figure 1.	Relation entre les modes de formation.....	14
Figure 2.	Typologie des systèmes de TP (Benmohamed, 2007).....	19
Figure 3.	Les formes de Télé-TP.....	24
Figure 4.	Modèles de Télé-Laboratoires	34
Figure 5.	Structure générale d'un laboratoire virtuel	37
Figure 6.	Architecture de CVL@b	39
Figure 7.	Les différentes interactions présentes dans CVL@b.....	41
Figure 8.	Le modèle de l'outil CVL@b-SCT.....	46
Figure 9.	Le diagramme hiérarchisé des objectifs	53
Figure 10.	Le diagramme des cas d'utilisation.....	54
Figure 11.	Le diagramme des cas d'utilisation.....	55
Figure 12.	Le diagramme des cas d'utilisation.....	56
Figure 13.	Inscription d'un Apprenant	58
Figure 14.	Connexion de l'Apprenant.....	59
Figure 15.	Déconnexion de l'apprenant	60
Figure 16.	Consultation de la Feuille de Télé-TP	61
Figure 17.	Réalisation Télé-TP « individuel ».....	63
Figure 18.	Réalisation Télé-TP « en groupe »	63
Figure 19.	Enregistrement du compte rendu	64
Figure 20.	Supervision en temps réel	65
Figure 21.	Supervision en temps différé	65
Figure 22.	Diagramme de rôles de CVL@b.....	67
Figure 23.	Diagramme états et transitions du R_Inter_App et R_Inter_Ens.....	68
Figure 24.	Diagramme états de transitions du R_Système.....	68
Figure 25.	Diagramme états de transitions du R_Inter_App	69

Figure 26.	Diagramme états de transitions du R_Système.....	69
Figure 27.	Diagramme états de transition du R_Workspace.....	70
Figure 28.	Diagramme états de transition du R_Coordonateur	71
Figure 29.	Diagramme états de transition du R_Tuteur	72
Figure 30.	Diagramme états de transition du R_Archiveur	72
Figure 31.	Diagramme états de transition du R_Tuteur	73
Figure 32.	Diagramme états de transition R_Coordonateur	74
Figure 33.	Diagramme états de transition du R_Capteur.....	74
Figure 34.	Diagramme de classes d'agent.....	76
Figure 35.	Chronogramme de consultation d'énoncé de Télé-TP	77
Figure 36.	AEF d'interactions de l'A_inter_App	78
Figure 37.	AEF d'interactions de l'A_Système.....	78
Figure 38.	L'architecture interne de l'agent interface apprenant	79
Figure 39.	Le diagramme de déploiement.....	82
Figure 40.	Modèle empirique d'une feuille de Télé-TP	85
Figure 41.	Diagramme de cas d'utilisation.....	86
Figure 42.	Ajouter un Télé-TP	87
Figure 43.	Supprimer un Télé-TP.....	88
Figure 44.	Consulter un Télé-TP	88
Figure 45.	Diagramme de classes.....	89
Figure 46.	Exemple d'une DTD	91
Figure 47.	Diagramme de cas d'utilisation.....	94
Figure 48.	Diagramme de classes.....	95
Figure 49.	Recherche documentaire	95
Figure 50.	Ajouter un document	96
Figure 51.	Modifier un document.....	97
Figure 52.	Supprimer un document	98
Figure 53.	Modification d'un document	99
Figure 54.	Suppression d'un document	99
Figure 55.	Ajout d'un document.....	100

Figure 56.	Recherche d'un document.....	100
Figure 57.	Structure du fichier paper.xml.....	101
Figure 58.	Le diagramme de classes.....	102
Figure 59.	Diagramme d'interactions.....	109
Figure 60.	Structure modulaire de l'A_Coordonateur.....	111
Figure 61.	Réseau de pétri d'allocation d'un objet commun.....	113
Figure 62.	Apprentissage individuel.....	115
Figure 63.	Apprentissage collaboratif.....	116
Figure 64.	Architecture logique de l'application.....	119
Figure 65.	RMA du framework JADE.....	120
Figure 66.	Fenêtre de connexion.....	121
Figure 67.	Fenêtre inscription.....	121
Figure 68.	Espace Apprenant (Consultation de la feuille de Télé-TP).....	122
Figure 69.	Espace Apprenant (Réalisation du Télé-TP).....	123
Figure 70.	Espace Apprenant (Chat et Rédaction du compte rendu).....	123
Figure 71.	Processus de supervision.....	124
Figure 72.	Lancement de la supervision.....	126
Figure 73.	Cas d'échec de supervision.....	126
Figure 74.	Supervision d'apprenant en temps réel.....	127
Figure 75.	Supervision d'apprenant en temps différé.....	128
Figure 76.	Espace commun de réalisation du Télé-TP.....	128
Figure 77.	Editeur de la feuille de Télé-TP.....	130
Figure 78.	Ajout d'un article.....	131
Figure 79.	Recherche des articles par « thèmes ».....	131
Figure 80.	Résultat de la recherche.....	132
Figure 81.	Points de coopération/collaboration.....	138
Figure 82.	Résultats globaux de CVL@b.....	142
Figure 83.	Structure du système.....	161
Figure 84.	Connexion et inscription.....	162
Figure 85.	Espace apprenant.....	162

Figure 86.	Consultation du scénario pédagogique.....	163
Figure 87.	Messagerie électronique	163
Figure 88.	Rédaction du compte rendu.....	164
Figure 89.	Espace enseignant.....	164
Figure 90.	La méthodologie MaSE.....	175

Liste des tableaux

Tableau 1.	Comparaison entre les laboratoires.....	30
Tableau 2.	Matrice des objets virtuels.....	114
Tableau 3.	Expérience informatique des acteurs.....	135
Tableau 4.	Situations pédagogiques dans CVL@b.....	136
Tableau 5.	Statistiques de fiabilité.....	139
Tableau 6.	Évaluation de l’outil de communication.....	139
Tableau 7.	Evaluation du système de supervision & contrôle.....	140
Tableau 8.	Evaluation du système de collaboration.....	140
Tableau 9.	Evaluation de l’espace de travail.....	141
Tableau 10.	Evaluation du prototype (PWS).....	141
Tableau 11.	Evaluation du fond documentaire (BE).....	141
Tableau 12.	Évaluation globale de CVL@b.....	142

Introduction générale

Introduction

Au cours de cette dernière décennie, le paysage intellectuel du monde a connu de vastes transformations dans les systèmes technologiques du traitement de l'information et de la communication. En effet, la libéralisation des télécommunications, l'explosion de l'Internet et une vague croissante de fusions notamment entre les sociétés d'informatique, de médias et de télécommunications évoluent toutes vers la même finalité à savoir l'émergence de la société de l'information.

Avec l'apparition des TIC (Technologie de l'Information et de la Communication) (Vodoz, Alii, 2002), on assiste à une révolution dans le domaine de la transmission des connaissances ; ce qu'on appelle les TICE (Technologies de l'Information et de la Communication dans l'Enseignement). Les TICE recouvrent les outils et produits numériques pouvant être utilisés dans le cadre de l'enseignement, et regroupent un ensemble d'outils conçus et utilisés pour produire, traiter, entreposer, échanger, classer, retrouver et lire des documents numériques à des fins d'enseignement et d'apprentissage.

Les TICE permettent d'assurer une formation théorique en ligne par le biais des cours interactifs. Bien que ces environnements de formation favorisent l'atteinte de plusieurs objectifs pédagogiques, la formation pratique (réalisation effective des expériences de laboratoire à travers le réseau) n'est pas encore très répondue. Pourtant, dans de très nombreux domaines, notamment en sciences expérimentales, la formation pratique est complémentaire à tout enseignement théorique.

A côté des concepts de plates-formes d'enseignements à distance et plus généralement les environnements numériques de travail et les universités virtuelles, se développe le concept de laboratoire virtuel (LV). Un laboratoire virtuel est un environnement informatique visant, par la simulation d'expériences, l'apprentissage de la démarche pratique d'une discipline expérimentale telle que la physique, la chimie, la mécanique, etc. Il offre également des explications sur les concepts et les lois utilisés pour décrire et expliquer les phénomènes en cause dans les expériences simulées.

Globalement, notre contexte de recherche se situe dans le domaine des EIAH (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain) et particulièrement l'EAD (l'Enseignement A Distance). Il présente un volet très important celui de l'enseignement expérimental. Les Télé-TP (Travaux Pratiques à distance) sont jugés indispensables aux apprenants pour mieux comprendre les acquis théoriques. En revanche, peu de travaux qui traitent ce point et lui donnent une importance pourtant l'ère de la technologie d'Internet et les TIC.

Dans cette introduction, nous expliquons dans la section motivations les éléments de problématique et les motivations sur lesquelles nous sommes basées. Puis, nous décrivons dans la partie contributions les objectifs et l'approche méthodologique adoptée. Nous terminons cette introduction générale par la présentation de l'organisation du document.

Motivations

Les motivations qui ont guidé le développement de ce travail s'appuient initialement sur les limitations capitales que présente l'apprentissage classique ; Les tranches horaires sont limitées dans l'emploi du temps et la séance d'apprentissage (travaux pratique dans notre cas) peut ne pas avoir lieu dans l'ordre le plus approprié pour certains groupes. En outre, les contraintes des emplois du temps font que, parfois, certaines séances d'apprentissage arrivent avant le cours. Dans ce cas, le bon sens voudrait que ces séances soient pédagogiquement reconstruites. Pour la documentation,

dans le pire des cas, le sujet est découvert en début de séance. Même distribué avant la séance, il est rarement lu avant par les apprenants.

Les premières alternatives aux travaux de laboratoire classiques sont les laboratoires virtuels (Pankov, Karaminkova, 2004). Bien que ces derniers sont très critiqués (Grant, 1995 ; Canizares, Faur, 1997), ils ont certainement un nombre d'avantages (Swinnen, 1993 ; Shin, Yoon, Lee, Lee, 2002) significatifs tels que:

- La possibilité de faire des expériences irréalisables concrètement pour des raisons divers (coûts trop élevé, durée d'expérimentation excessive, habileté des apprenants insuffisante, etc.).
- La situation expérimentale peut être simplifiée. Encore que ce point mérite d'être débattu, les opérations à effectuer sont en tous cas plus faciles et plus rapides que dans un travail pratique concret dans des laboratoires conventionnels.
- Ni le matériel expérimental, ni l'expérimentateur lui-même ne courent des risques en cas de fausse manœuvre.
- La machine peut guider l'apprenant et mémoriser le travail accompli.
- Si la simulation est suffisamment complexe, l'apprenant dispose d'une liberté d'investigation qui ne lui est que très rarement octroyée au cours de travaux pratiques concrets. Il peut décider lui-même sa stratégie expérimentale, procéder par tâtonnements, recommencer un grand nombre de fois des tentatives similaires.
- L'ordinateur lui permet en effet de se tromper sans danger, et sans autre pénalisation qu'une minuscule perte de temps
- La création d'un mode actif d'apprentissage qui améliore ainsi le rendement des apprenants (Ma, Nickerson, 2006).

Récemment, de nombreux laboratoires virtuels (Lelevé, Meyer, Prévôt, 2002 ; Baudouin, 2007) ont été développés. Cependant, notre recherche montre que la majorité d'entre eux présentent quelques limites :

- Démarche de conception : Absence dans la littérature d'un modèle générique pour les environnements de type laboratoires virtuels ainsi d'une chaîne d'édition propre aux Télé-TP.
- Le soutien et contrôle de l'apprenant : Les situations d'enseignement/apprentissage des travaux pratiques à distance peuvent être considérées comme des situations dynamiques, ou évolutives, c'est-à-dire qu'elles peuvent évoluer même sans l'intervention de la personne qui les conduit. Ce caractère dynamique implique, de la part des responsables de ces situations (tuteurs en présence de leurs apprenants ou à distance) un certain nombre d'activités spécifiques et de compétences cognitives (la capacité à agir de manière efficace et compétente dans un contexte donné). Toute situation dynamique (processus industriel, gestion de feux de forêts) amène son responsable à la superviser (à recueillir de la situation des indices pertinents de son état) et à la contrôler (à agir sur certaines variables afin que les variables critiques de la situation restent dans des marges acceptables) (Hoc, 1996). Les TIC offrent au tuteur des moyens de superviser et contrôler les situations et la possibilité de faire des rétroactions plus variées et plus efficaces (fréquentes, conséquentes, formatives, multidimensionnelles, spécifiques au contenu et centrées sur l'apprenant) (Mechta, Harous, Djoudi, Douar, 2012).
- Le travail collaboratif : Les outils de communication numériques peuvent permettre, par exemple, aux apprenants de travailler ensemble sur des Télé-TP avec davantage de ressources. Cette évolution des technologies crée de nouvelles formes de travail collaboratif qui ont leurs spécificités. Deux apprenants qui travaillent ensemble pour réaliser un TP à distance partagent différentes informations à propos de leur objectif commun. Mais à distance, l'échange d'informations peut vite devenir laborieux et paralyser leurs activités. Ils peuvent alors, partager un espace de travail numérique dans lequel ils expriment leurs idées, communiquent et échangent des ressources. Dans ce cas, en plus d'être confrontés à une nouvelle situation de travail. Il faut donc leur proposer

des solutions adaptées à leurs besoins spécifiques en termes de travail collaboratif.

- Simulations : Le cœur de ces laboratoires est la simulation pédagogique représentant les activités expérimentales. Pourtant ces simulateurs présentent de nombreux atouts, ils ont des limites. Le risque corollaire est la perte du contexte s'il n'a pas été pris en compte dans les modèles. La fidélité du simulateur au monde réel dépend de la précision et de la qualité des modèles sur lequel le simulateur s'appuie. La majorité des LV existants utilisent de simples animations. Donc, le recours à l'usage de l'interactivité permet d'éviter ces risques.
- Généricité : Les LV existants sont tous à caractère spécifique ; il aborde un seul axe dans une discipline tel que celui de l'électricité dans la physique, des expériences en électronique ou chimie (Girault, D'ham, Caix-Cecillon, Bettega, 2003 ; Gerval, Le Ru, 2006).

Notre travail donc, propose des solutions afin de dépasser ces limites. Pour que ces solutions soient efficaces, elles doivent permettre d'améliorer la qualité d'apprentissage, mais avec un effort raisonnable en matière de construction des modèles. Ceci exige des systèmes faciles à intégrer, faciles à mettre en place et faciles à utiliser. Alors, mettre en place un modèle pour les laboratoires virtuels collaboratifs devient une nécessité. En effet, les plates-formes de formation à distance existantes (Claroline¹, Ganesha², Moodle³, Sakai⁴) ne conviennent pas car elles n'offrent aucune structuration à ce type d'activités. Par ailleurs, les environnements pour le travail collectif (collecticiels) ne sont pas adaptés à une utilisation dans un contexte éducatif.

¹ <http://www.projet-pulme.org/claroline>

² <http://www.projet-pulme.org/ganesha>

³ <http://www.projet-pulme.org/moodle>

⁴ <http://www.projet-pulme.org/sakai>

Contributions

La virtualisation associée à l'accès à distance apporte une solution pertinente à la problématique de simulation des Travaux Pratiques. Il devient possible de reconstituer des situations classiques d'enseignement en présentiel, mais aussi de dépasser les limites mentionnées au-dessus, et même d'envisager des utilisations totalement spécifiques à l'exploitation d'ordinateurs totalement dématérialisés, n'importe quand et de n'importe où.

L'objectif de notre travail consiste à développer un prototype d'une plate-forme générique de type laboratoire virtuel collaboratif dans des disciplines des sciences expérimentales. Dans cet environnement, plusieurs apprenants peuvent collaborer dans la réalisation du Télé-TP, consulter des scénarii ainsi des cours, communiquer et être assistés par un tuteur. Ce travail se décompose en trois grandes phases : analyse bibliographique, conception et mise au point d'une plate-forme de Télé-TP sur le Web et enfin, expérimentation réelle et analyse d'usage.

A la lumière de sa décomposition, notre démarche consiste en :

- Analyse bibliographique qui permet de déterminer des concepts de base sur les quels s'articule la notion de laboratoire virtuel : EIAH, Télé-TP, collaboration, supervision, etc.
- Etude empirique des feuilles de TP pour mieux concevoir son prototype.
- Conception et mise au point d'une plate-forme de Télé-TP sur le Web.
- Mise en ouvre et intégration des outils pour la collaboration et la personnalisation.
- Mise en œuvre et intégration des outils pour le soutien des groupes d'apprenants et le contrôle de leurs activités. Cet outil est dédié aux tuteurs afin de superviser d'une manière synchrone (supervision en temps réel) et asynchrone (supervision

en temps différé) des groupes d'apprenants et contrôler (Intervention humaine) le déroulement des activités.

- Choix motivé de la discipline et étude de l'expérimentation et rôle des TP dans la discipline choisie : le choix du scénario pédagogique pour l'expérimentation n'est pas aisé dû aux nombreuses disciplines qui se situent dans les sciences expérimentales. Donc, pour se faire, on prend quelques facteurs afin de motiver notre choix. Il s'agit du degré d'interactivité pendant les activités du Télé-TP et le niveau d'abstraction dans le Télé-TP.
- Mise en place d'un protocole expérimentale, expérimentation avec des enseignants et des apprenants et analyse des résultats.

Organisation de la thèse

La thèse est organisée en sept chapitres :

Le 1^{er} chapitre présente le contexte général de notre recherche dans le domaine des Environnement Informatiques de l'apprentissage Humain (EIAH). Il dresse un état de l'art sur les Télé-TP ainsi leur environnement d'exécution. Une étude comparative entre ces environnements permettre de dégager les problèmes liés à eux.

Le 2^{ième} chapitre expose notre propre contribution. Il s'agit d'une proposition d'une architecture générique d'un laboratoire virtuel collaboratif (CVL@b: Collaboratif Virtual L@boratory).

Le 3^{ième} chapitre présente notre méthodologie de conception d'un système de gestion d'apprentissage de CVL@b (CVL@b-LMS) ; toutes les activités liées aux LMS sont étudiées et modélisées par la méthodologie MaSE (Multi-agent System Engineering) (DeLoach, Wood, Sparkman, 2001).

Le 4^{ième} chapitre est consacré à la modélisation objet du système de gestion de contenus pédagogiques (LCMS). Il comporte deux sous-systèmes dont l'un présente le prototype

d'une feuille de Télé-TP (LCMS-PWS) et l'autre celui d'un outil de documentation (LCMS-EL).

Le 5^{ème} chapitre traite un volet très important pour notre laboratoire virtuel : le système de collaboration, les modules qui le compose ainsi sa conception du point de vue fonctionnel.

Le 6^{ème} chapitre porte sur la mise en œuvre de la plateforme CVL@b. Il présente des résultats; en quelques sortes, il montre une validation logicielle de l'architecture proposée.

Le 7^{ème} chapitre aborde le protocole expérimental de CVL@b. Il décrit la méthodologie utilisée pour évaluer cette plateforme, les résultats obtenus et discussion de ces derniers sur les plans pédagogiques, sociologiques, didactiques, économiques, ergonomiques, etc.

Chapitre 1 : Environnements d'apprentissage et Télé-TP

1.1 Introduction

Le développement rapide de la technologie Internet et sa popularité croissante a eu un impact énorme sur le processus d'enseignement/apprentissage. Cette technologie offre de nouveaux outils pour toutes les disciplines. Ces outils facilitent les stratégies d'enseignement à savoir des simulations (Azzi, 1995) (Pernin, 1996) (Buitrago, 1999), des démonstrations, illustrations et communication. Actuellement, l'apprentissage par Internet est devenu important dans l'enseignement.

Ce chapitre est consacré à la définition du contexte général de notre travail : les laboratoires virtuels pour les travaux pratiques à distance. Avant d'aborder ces derniers, ils seront d'abord replacés dans un contexte plus général des nouvelles technologies et des nouveaux médias.

Le chapitre est organisé comme suit :

- La première partie est dédiée à la présentation de la chronologie des EIAH ainsi à la définition des concepts concernant quelques modes de formation afin de situer notre recherche vis-à-vis ces modes.
- Dans la seconde partie, les environnements d'apprentissages des TP/Télé-TP sont abordés. Ces environnements sont classifiés en deux types : les laboratoires présentiels et les Télé-laboratoires. Cette dernière catégorie est née suite à l'émergence des TIC. Elle regroupe les laboratoires virtuels et les laboratoires réels à distance. Nous concluons cette partie par une synthèse qui permet de dégager notre problématique liée aux laboratoires virtuels.

1.2 Contexte générale des EIAH

1.2.1 De l'EAO aux EIAH

L'évolution technologique des ordinateurs et leur utilisation pour des fins éducatives s'est concrétisée pour la première fois au début des années 60. Il s'agit de l'apparition du terme EAO (Enseignement Assisté par Ordinateur) où l'application des principes du béhaviorisme à l'enseignement qui s'avère peu adaptée aux besoins des apprenants. Par conséquent, dans les années 70, les chercheurs en Intelligence Artificielle reprennent la problématique de l'EAO qui a abouti à l'EIAO (Enseignement intelligemment Assisté par Ordinateur). Avec le développement des systèmes à base de connaissances en Intelligence Artificielle (Benadi, 2003), les systèmes tutoriels intelligents sont apparus dans les années 80-90. Nombreux travaux dans cette catégorie, à titre d'exemple, nous citons TUTORIN (Prévôt, 1992). A la fin des années 80 comme le précise (Bruillard, Delozanne, Ieroux, Delannoy, Dubourg, Jacoboni, Lehuen, Luzzati, Teutsch, 2000), le même acronyme EIAO prenait un autre sens : Environnement Interactif d'Apprentissage par Ordinateur, soulignant l'importance fondamentale de l'interactivité des systèmes. Actuellement, le sigle EIAH (Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain) a pris la place des termes précédents. La définition retenue pour décrire un EIAH est celle de (Tchounikine, Baker, Balacheff, Baron, Derycke, Guin, Nicaud, Rabardel, 2004) : « *un EIAH est environnement informatique conçu dans le but de favoriser l'apprentissage humain, c'est-à-dire, la construction de connaissances chez un apprenant. Ce type d'environnement mobilise des agents humains (élève, enseignant, tuteur) et artificiels (agents informatiques, qui peuvent eux aussi tenir différents rôles) et leur offrent des situations d'interaction, localement ou à travers les réseaux informatiques, ainsi que des conditions d'accès à des ressources formatives (humaines et/ou médiatisées), ici encore locales ou distribuées* ».

1.2.2 Les modes de formation

Depuis plus d'un siècle, la FAD (Formation A Distance) et la FOAD (Formation Ouverte et A Distance) sont apparus dans le processus d'enseignement/apprentissage. L'apparition des TIC et l'évolution d'Internet ont permis la naissance de nouvelles formes de formation: la e-formation et la télé-formation. Nous allons préciser ces terminologies afin de situer nos recherches vis-à-vis de ces modes.

1.2.2.1 La FOAD

La FOAD englobe deux qualitatifs :

- Ouverte (les politiques et les pratiques de la formation sont très souples avec des degrés de liberté élevés dans l'accès à la formation ; aucune inscription préalable n'est par exemple nécessaire pour accéder aux contenus pédagogiques, aucune restriction sur l'âge, le sexe, nationalité ou des contraintes sur le temps et avec les prés-requis des participants,...) ;
- A distance (la distance impliquant la dispersion géographique et/ou temporelle des acteurs impliqués dans le processus de formation).

La conférence de consensus Chasseneuil a défini la FOAD : « *une formation ouverte et à distance est un dispositif organisé, finalisé, reconnu comme tel par les acteurs, qui prend en compte la singularité des personnes dans leurs dimensions individuelle et collective et repose sur des situations d'apprentissage complémentaires et plurielles en termes de temps, de lieux, de médiations pédagogiques humaines et technologiques, et de ressources* » (Chasseneuil, 2000).

A son tour, L'UNESCO (Educnet) caractérise la FOAD par : « *une liberté d'accès aux ressources pédagogiques mises à disposition de l'apprenant, sans aucune restriction, à savoir : absence de condition d'admission, itinéraire et rythme de formation choisis par l'apprenant selon sa disponibilité et conclusion d'un contrat entre l'apprenant et l'institution* ». Un dispositif de FOAD s'appuie sur un ou plusieurs modes d'apprentissage (cours par correspondance classiques, centres de ressources pédagogiques, Télé-Cours, ...). La FOAD peut être partiellement ou intégralement à distance contrairement à la FAD qui est totalement à distance.

1.2.2.2 La FAD

D'après (Benmohamed, 2007), la FAD : « est un sous ensemble de la FOAD. Elle peut être simplement définie par toute situation éducative dans laquelle les processus d'apprentissage et/ou d'enseignement sont faits hors de la situation présentielle classique entre les différents acteurs ». L'AFNOR (Educnet) a aussi défini la FAD comme : «un système de formation conçu pour permettre à des individus de se former sans se déplacer sur le lieu de formation et sans la présence physique d'un formateur. La FAD recouvre plusieurs modalités (cours par correspondance, d-learning, ...) et est incluse dans le concept le plus général de FOAD. La FAD couvre l'ensemble des dispositifs techniques et des modèles d'organisation qui ont pour but de fournir un enseignement ou un apprentissage à des individus qui sont distants de l'organisme de formation prestataire du service ».

Les caractéristiques de la FAD proposées par (Keegan, 1996) qui sont retenues par (Mbala-Hikolo, 2003) sont :

- La séparation physique quasi-permanente entre le formateur et l'apprenant tout au long du processus d'apprentissage (ceci différencie la formation à distance de la formation présentielle) ;
- L'influence d'une organisation administrative aussi bien pour planifier et préparer des matériaux pédagogiques, que pour mettre à la disposition des apprenants des supports et services d'accompagnement ou encore pour valider et certifier des acquis (ceci différencie la FAD de l'autoformation) ;
- L'utilisation de médias techniques (imprimerie, audio, vidéo, ...) pour assurer le lien entre le formateur et l'apprenant et médiatiser le contenu de la formation ;
- L'existence de mécanismes de communication de bidirectionnelle afin que l'apprenant bénéficie et prenne aussi l'initiative du dialogue avec le formateur ;
- La quasi-absence de la notion du groupe tout au long du processus d'apprentissage : les apprenants sont toujours vus comme des individus isolés et

non comme faisant partie d'un groupe, avec la possibilité d'organiser occasionnellement des rencontres, soit en présentiel, soit via des moyens de électroniques à des fins didactiques ou de socialisation.

1.2.2.3 La e-formation

La e-formation ou bien e-learning est une FOAD qui s'appuie sur l'utilisation d'Internet et les TICE. A l'origine, la e-formation est la formation par la voix « électronique », c'est-à-dire médiatisée par l'informatique. Elle peut être locale ou à distance via des systèmes de communication dont Internet est devenu le mode quasi exclusif. D'après la commission européenne : *la e-formation consiste à utiliser les nouvelles technologies multimédia et de l'Internet, pour améliorer la qualité de l'apprentissage en facilitant l'accès à des ressources et des services, ainsi que les échanges et la collaboration à distance* (Educnet). La e-formation résulte donc de l'association de contenus interactifs multimédia, de supports de distribution PC, internet, Intranet) et d'un ensemble d'outils logiciels (gestion d'une formation en ligne, communication synchrone et asynchrone, ...). L'accès aux ressources s'en est considérablement élargi, de même que les possibilités de collaboration et d'interactivité.

1.2.2.4 La télé-formation

La télé-formation est considérée comme un sous-ensemble de la FAD ; elle s'appuie sur l'utilisation des TICE via Internet, Intranet ou Extranet. Ce mode de formation permet de fournir un enseignement/apprentissage à tout individu ou groupe d'individus distants de l'organisme prestataire du service de formation selon des modalités souples adaptées au mieux aux possibilités de chacun des individus en formation (Mbala-Hikolo, 2003).

1.2.3 Situation de notre travail

Notre travail se situe dans les EIAH. Plus précisément, nous nous intéressons à la FAD à travers les TICE, donc médiatisée par les réseaux Informatiques et totalement à distance. Les activités d'apprentissage par l'action (APA) (George, 1989) sont parmi

les méthodes actives qui reposent sur la dynamique du groupe. Dans ces situations, la pédagogie est centrée sur le développement des compétences des apprenants et l'enseignant n'est qu'un facilitateur. L'apprentissage par action peut prendre la forme de travaux pratiques ou de projets. La forme qui fait l'objet de cette thèse est celle des travaux pratiques à distance qui se situent dans le cadre de télé-formation.

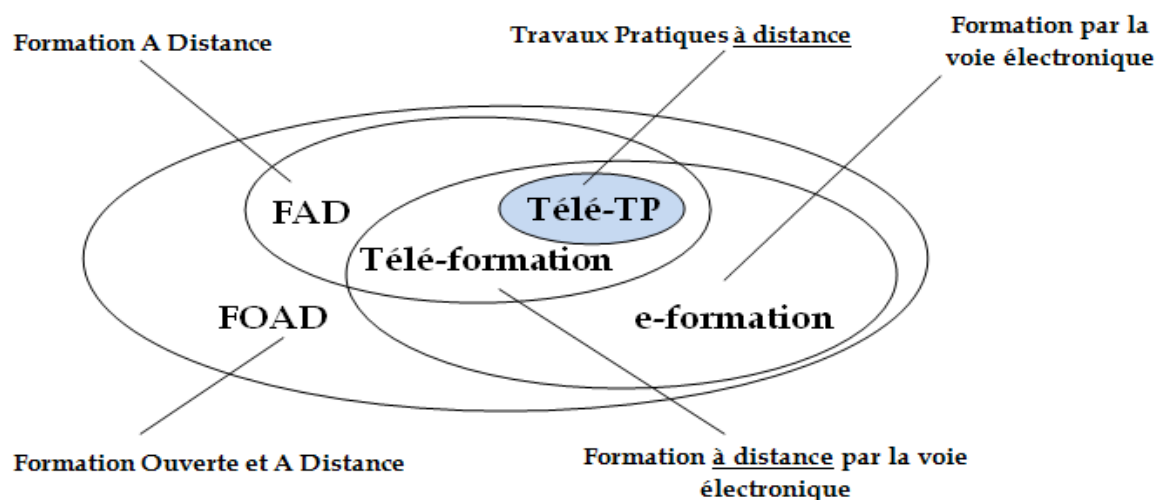


Figure 1. *Relation entre les modes de formation*

1.3 Environnements d'apprentissage des TP/ Télé-TP

1.3.1 Les laboratoires traditionnels

On trouve, parmi les termes équivalents qui englobent le concept de laboratoire traditionnel, ceux de « laboratoire conventionnel », « laboratoire réel » et « laboratoire classique ». Un laboratoire traditionnel désigne un endroit physique qui accueille les utilisateurs tout en leur permettant de réaliser leurs tâches en se servant ou non d'équipements. Le lieu désigné peut être une salle comme le cas du Chimie, Physique, Automatique, Biochimie, etc. ou un environnement naturel tel que dans l'Agronomie ou

encore biologie végétale. Les expériences réalisées sont conduites en mode présentiel par un formateur (Saliah-Hassan, 2011).

Ces laboratoires se caractérisent par :

- Beaucoup d'essais présentés comme étant des évaluations estimées.
- Le travail s'effectue par groupe (binôme ou trinôme) ; chaque groupe remet un compte-rendu écrit à la fin de la séance de TP.
- L'évaluation porte exclusivement sur ce compte-rendu et essentiellement sur des valeurs numériques ou des graphes qualitatifs.
- Le degré d'interaction est important grâce à la collaboration entre apprenant/apprenant, apprenant/tuteur et apprenant/instrument. Les deux premières interactions, l'apprenant est loin d'être isolé socialement (pas de phénomène d'isolement).
- Une prise d'initiative chez l'apprenant ; l'apprenant est toujours motivé.
- L'autonomie : l'apprenant pourra réaliser les étapes du travail pratique sans aide extérieure.

Néanmoins, la réalisation des travaux pratiques dans un environnement classique descelle les problèmes suivants:

- La majorité d'universités n'ont pas les moyens pour acheter plusieurs exemplaires sur un même instrument pour faire des essais car il est très fragile comme très coûteux.
- Les apprenants doivent prendre des rendez-vous pour y avoir un accès expérimental sur ces instruments.
- Emplacements physiques inadéquats pour la plupart des participants (apprenants debout, etc.).
- Démonstration unique, donc difficulté de rejoindre tous les individus de groupe.

- Essai unique, donc expérimentation sur un seul cas (paramètres, conditions aux limites, matériaux, etc.).
- Les manipulations des utilisateurs sont presque illimitées et les erreurs rarement signalées.

1.3.1.1 Définition des Travaux Pratiques (TP)

Les Travaux Pratiques sont des activités complémentaires à la partie théorique composée de cours et travaux dirigés. Ce type de travaux peut être mené dans un laboratoire (souvent le cas) ou non (étude et analyse chimique et biologique de la terre dans un champ agricole par exemple). Plusieurs définitions ont été proposées par les auteurs concernant les TP. Neau (Neau, 2003) a défini les travaux pratiques par « *l'activité qui consiste, pour les étudiants, à effectuer une ou plusieurs expérimentations, c'est-à-dire des manipulations de dispositifs expérimentaux avec l'objectif de mettre en évidence un phénomène* ». Selon (Bouabid, Salmi-Bouabid, 2005), « *les travaux pratiques dans l'enseignement sont une forme d'activité d'apprentissage qui se fait dans un laboratoire et qui permet à un groupe d'étudiants d'expérimenter les principes théoriques appris en suivant les consignes de l'enseignant* ». (Singer, Hilton, Schweingruber, 2005) ont proposé cette définition: « *Les travaux pratiques donnent l'occasion pour les étudiants d'interagir directement avec un dispositif expérimental (ou avec des données issues d'un dispositif expérimental), utilisant des outils, des techniques de collecte de données, des modèles et des théories scientifiques. Ceci inclut :*

- *La manipulation d'instruments : TP de chimie, biologie, physique, ...*
- *L'utilisation de simulateurs pédagogiques.*
- *L'utilisation et l'accès à des bases de données expérimentales : les étudiants peuvent utiliser des données expérimentales issues d'instruments de mesures et représentées sous diverses formes (images pour l'étude de la lune par exemple). Ces données peuvent être incluses dans des films, DVD ou programmes informatiques.*
- *Les laboratoires distants ».*

Il n'y a aucun doute que les séances d'apprentissage basées sur les laboratoires jouent un rôle important dans l'enseignement/apprentissage scientifique. (Nersessian, 1991) prétendre que *«l'expérience pratique est au cœur de la science de l'apprentissage»* et (Clough, 2002) déclare que les expériences de laboratoire animent la science. Les cours de laboratoire ont une forte incidence sur les résultats d'apprentissage des élèves (Magin, Churches, Reizes, 1986). L'importance des travaux pratiques a été démontrée par les théories socioconstructivistes comme étant un élément favorisant les interactions entre apprenants et apprenants-tuteurs d'un côté et mettant en œuvre le principe de l'apprentissage par essai/erreur d'un autre côté (Lelevé, Meyer, Prévôt, 2002).

(Cooper, Donnelly, Ferreira, 2002) citent quelques objectifs pédagogiques derrière les travaux pratiques:

- Fournir des illustrations et démonstrations des principes enseignés et donc une meilleure assimilation des apprenants.
- Motiver les étudiants et focaliser les interactions entre étudiants et entre étudiant-tuteurs.
- Développer des compétences pratiques considérées comme importantes d'un point de vue professionnel.
- Développement des compétences du travail collaboratif en équipe.
- Introduire les étudiants dans la communauté de pratique des ingénieurs et des scientifiques.
- Donner un contexte pour l'enseignement de l'analyse de données.

1.3.1.2 Typologie des TP

Les situations d'un TP sont classifiées comme l'illustre la figure 2:

- Systèmes réels : le dispositif utilisé pédagogiquement est celui d'origine. Dans cette classe, nous trouvons :

- o Les systèmes en vrais grandeurs et contexte : il s'agit de former du personnel qualifié à la conduite des unités telles qu'un magasin, unité de production, atelier, etc. Ces systèmes ne peuvent être utilisés dans un contexte pédagogique pour plusieurs raisons d'après (Azzi, 1995). La plupart des installations fonctionnent en continu et donc les séances de formation dédiées entraînent une perte de production inenvisageable. Le risque de voir une conduite hésitante provoquer des alarmes dangereuses est très élevé et risque d'être économiquement désastreux. Le but principal de l'apprentissage n'est pas seulement de conduire l'installation en situations normales et stationnaires mais également d'apprendre à faire face aux situations de dysfonctionnement qui n'apparaîtraient pas forcément lors d'un fonctionnement courant.
 - o Un simple dispositif technique : il s'agit d'un dispositif réel contextualisé par des scénarii pédagogiques. A titre d'exemple « l'oscilloscope », « le microscope », « thermomètre », etc.
 - o Système réel à caractère pédagogique : c'est un système réel dédié à la formation. Il présente des inconvénients tels que le coût élevé de l'installation et de sa maintenance.
- Systèmes physiques : cette classe se caractérise par la nature physique du système utilisé. Elle regroupe les systèmes réels et les maquettes pédagogiques (un modèle réduit du système réel : simulateur du système réel).
 - Systèmes virtuels : se sont des systèmes utilisant des ressources virtuelles (absence des objets pédagogiques physiques). La simulation est le cœur de ce type de système. Plusieurs exemples rentrent dans cette catégorie comme :
 - o Simulateur pédagogique : il permet à l'apprenant d'acquérir une démarche liée à l'assimilation d'un phénomène ou d'un système. Les concepteurs de ce simulateur favorisent l'apprentissage par la manipulation personnelle (choix-essai-conséquences) et centrent le simulateur pédagogique sur l'apprenant et

non sur le phénomène ou système étudié (contrairement au simulateur scientifique) (Choplin, Degrugillier, Galisson, Morin, 2000), en développant les aspects motivants et porteurs d'interrogations.

- o Données expérimentales.
- o Concept ou outil informatique : TP portant sur les langages de programmation (Java, C, ...), les systèmes d'exploitation (Windows, Unix, ...) ou l'utilisation d'outils de modélisation (Merise, UML, ...).
- Systèmes hybrides : systèmes à la fois virtuels et physiques.

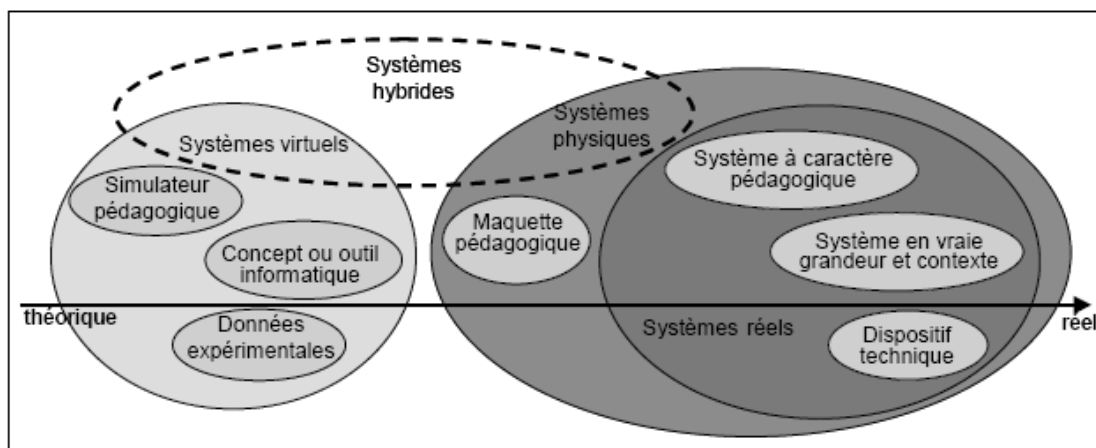


Figure 2. Typologie des systèmes de TP (Benmohamed, 2007)

Dans un contexte de télé-formation, nous nous limitons à la classe des systèmes virtuels.

1.3.2 Les laboratoires à distance (Télé-Laboratoire)

Avec l'ère du numérique et précisément les technologies de l'information et de communication, le mode de l'enseignement/apprentissage en laboratoire a connu des modifications dans la nature et les pratiques des laboratoires (Scanlon, Morris, Di Paolo, Cooper, 2002). Par conséquent, il apparaît deux types de laboratoires : les laboratoires virtuels et les laboratoires réels à distance (Albu, Holbert, Heydt, Grigorescu, Trusca,

2004; Canfora, Daponte, Rapuano, 2004). Ces derniers ont des racines dans les laboratoires classiques où les apprenants réalisent des expérimentations en présentiel (Žáková, Huba, Zemánek, Kabát, 2000). Chaque type sera discuté en détail dans les prochaines sections.

1.3.2.1 Les Travaux Pratiques et l'informatique

Les premiers essais de l'utilisation de l'ordinateur dans l'enseignement des sciences ont concerné principalement son emploi comme outil de laboratoire, précisément dans l'acquisition et le traitement des données expérimentales.

Aujourd'hui et grâce à l'évolution massive de l'informatique sur les plans matériel et logiciel, mais grâce aussi à une vision nouvelle de l'enseignement, l'ordinateur a pris une place importante dans le processus d'apprentissage. Nous présentons par la suite quelques approches (l'ExAO : Expérimentation Assistée par Ordinateur, les micromondes et l'approche technologique) qui illustrent le rôle primordial qu'a joué l'ordinateur dans les activités de type travaux pratiques.

- Les différentes approches : D'après (Benmohamed, 2007), il existe trois approches.
 - o L'ExAO : l'assistance de l'ordinateur dans les sciences expérimentales a donné naissance au terme ExAO (Expérimentation Assistée par Ordinateur). Nonnon (Nonnon, 2002) a défini un modèle d'enseignement dans les sciences expérimentales basé sur la notion de lunette cognitive. Nonnon a défini l'ExAO comme un « *environnement d'apprentissage qui utilise l'ordinateur en mode conversationnel, graphique et contrôle de procédés. Elle permet à l'étudiant, à la fois, de paramétrer et contrôler une expérience réelle, d'acquérir les données et de visualiser celles-ci sous forme symbolique. Ces données sont présentes en temps réel sur des instruments virtuels. De plus, un modéliseur permet de trouver la fonction mathématique décrivant le phénomène par l'ajustement des paramètres d'une courbe théorique qu'on superpose sur la courbe expérimentale. Ce système répond en tout point aux caractéristiques d'un appareteur robot qui assiste l'étudiant dans la préparation de son expérience* ». L'ExAO est décrit comme étant un

environnement qui interagit avec une expérimentation réelle par le biais d'une interface munie de capteurs et reliée à un ordinateur permettant de recueillir les données, de les représenter et de les analyser (Riopel, Potvin, 2006).

- o Les micromondes : dans (Gibaud, 1993), le concept du micromonde est défini selon le point de vue de l'élève, comme un système interactif simulé sur lequel celui-ci peut agir, capable de l'assister au cours de ses actions et de ses progrès. Du point de vue de l'enseignant, il s'agit d'un système paramétrable tant sur le plan pédagogique que sur le plan du modèle interne qu'il simule, susceptible de constituer un outil pédagogique capable de s'insérer dans un parcours de formation. L'idée des micromondes « *consiste à immerger l'apprenant dans un monde simplifié composé d'objets ayant des propriétés et réagissant à l'action de l'utilisateur. Le but est d'établir un lien entre le monde formel et un monde physique ou simulé. En manipulant le monde réel, l'apprenant se crée sa propre représentation mentale et les relations qui existent entre ses différents objets* » (Dèspres, 2001).
- o Approche technologique : Pascal LEROUX, ajoute (Nonnon, 2002) : « *l'approche technologique a pour but d'apprendre à contrôler des systèmes techniques à l'aide de langages de commandes spécialisés. Parmi ces systèmes techniques, on retrouve des logiciels professionnels de la productique comme par exemple les logiciels d'ordonnancement industriel* ». Cette approche vise l'apprentissage du contrôle de systèmes techniques à l'aide de langages de commande (langage de commande par Grafset, etc.). Les matériels sont industriels ainsi que des supports pédagogiques propres à la robotique ou à la productique (Nonnon, Leroux, 2005).

1.3.2.2 Les Travaux Pratiques à distance (Télé-TP)

Le terme Télé-TP désigne les travaux pratiques à distance. Il s'agit des TP classique (qu'on peut trouver dans un lycée ou une école d'ingénieurs) qui a été éventuellement

modifié mais surtout étendu afin d'être accédé à distance (Lelevé, Meyer, Prévôt, 2002). La distance étant élément central qui implique la dispersion géographique et/ou temporelle des enseignants/tuteurs, apprenants et les instruments de laboratoire.

1.3.2.3 Apports des Télé-TP

L'apparition des Télé-TP a permis de cerner les problèmes rencontrés dans les TP présentiels sur plusieurs plans (économique, pédagogique, etc.) :

- Sur le plan économique :
 - o Le partage d'instruments et d'équipements lourds et coûteux entre institutions (Bayard, Sauviac, Fayolle, Allard, Noyel, 2002 ; Taboy, 2006).
 - o L'accès aux instruments d'un « laboratoire » n'importe quand et de n'importe où.
- Sur le plan pédagogique :
 - o L'illustration de Télé-Cours ou Télé-TD pour des apprenants distants ne pouvant pas accéder à des dispositifs réels (équivalent à une démonstration).
 - o L'intégration d'outils (simulateurs, réalité virtuelle, etc.) apportés par les TIC.
 - o L'ouverture à des utilisateurs autres que la population d'origine : scénarios pédagogiques adaptés à des niveaux scolaires différents (du lycée à l'école d'ingénieur) et même au grand public en dehors des créneaux réservés aux apprenants.
 - o Les démonstrations mettant en valeur l'équipement et le savoir-faire de l'établissement auprès d'un plus grand public.

1.3.2.4 Limites des Télé-TP

Pourtant les Télé-TP présentent des potentiels importants, ils ont des limites dues à la mise à distance des manipulations qui engendre de nombreuses difficultés en terme de commandabilité (le recours aux techniques de la réalité virtuelle peut résoudre

ce problème), observabilité (une dégradation dans l'observation sensorielle du système piloté) et sécurité (sécurité du système informatique gérant l'expérimentation et sécurité du matériel à télé-manipuler).

1.3.2.5 Typologie des situations

Basant sur les situations d'un TP présents et leur classification, nous distinguons trois formes de Télé-TP (voir figure 3). Des études comparatives entre ces formes sont présentées dans (Nedic, Machotkd, Najhlsk, 2003) et (Deniz, Bulancak, özcan, 2003).

- Les Télé-TP fondés sur un système virtuel (système simulé informatiquement), autrement nommé « *laboratoire virtuel* » telle que nous l'entendons dans ce rapport, traduction du concept anglophone « *virtual laboratory* » (Anderson, 2001). Certains auteurs emploient le terme « *laboratoire virtuel* » pour désigner « *laboratoire distant* », comme (Röhrig, Jochheim, 1999 ; Wagner, 1999 ; Guimarães, 2003). C'est ce type de Télé-TP qui a constitué l'axe principal de nos travaux.
- Les Télé-TP fondés sur la manipulation d'un système physique. C'est le cas des laboratoires réels à distance connus sous le terme « *laboratoire distant* », traduit littéralement de l'anglais « *remote laboratory* » (Bicchi, Coppelli, Quarto, Rizzo, Turchit, Balestrinot, 2001) qui reflète bien cette réalité.
- Les Télé-TP fondés sur un système hybride (physique-virtuel). Il s'agit d'un système physique intégré dans un système virtuel simulateur.

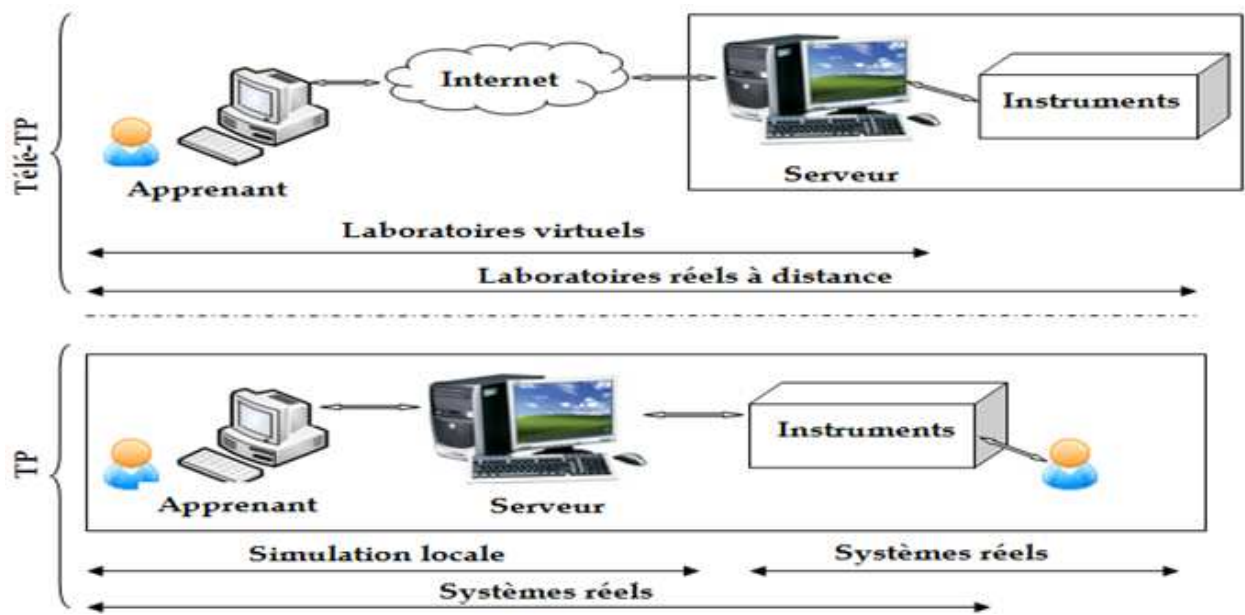


Figure 3. Les formes de Télé-TP

1.3.2.6 Les laboratoires réels à distance

Les laboratoires réels à distance sont des environnements où les expériences sont menées et contrôlées à distance via Internet. Ces expériences utilisent des composants réels ou des instruments à des endroits différents de celui où elles sont contrôlées (Xuemin, Gangbing et Yongpeng, 2010).

Ces environnements sont caractérisés (Auer, 2000) par :

- Accès à tout moment et de n'importe quel endroit.
- Pouvoir utiliser un matériel coûteux et/ou des dispositifs hautement spécialisés.
- Contrairement aux laboratoires virtuels, les laboratoires à distance fournit des expériences réelles.
- Donnent aux apprenants l'opportunité de travailler dans le mode distance.

❖ Quelques projets

- Le projet PEARL (Practical Experimentation by Accessible Remote Learning) (Cooper, Scanlon, Freake, 2000): Le projet PEARL est lancé en 2000. Ses objectifs d'après (Cooper, Donnelly et Ferreira, 2002) sont :
 - o Le développement d'un système flexible permet aux apprenants de conduire des expérimentations en temps réel à distance via Internet.
 - o Pour rechercher l'impact pédagogique en validant son développement dans différents contextes éducatifs et les domaines de l'enseignement supérieur.
- Smart Materials and Structures Laboratory (Song, Olmi, Bannerot, 2007) est un laboratoire de l'université de Houston.
- Nanotechnology experiments (Chang, Jaroonsiriphan, Sun, 2002): dans ce laboratoire, le nombre d'apprenants est petit ainsi la disponibilité des expériences est limitée.
- Projet PIEUVRE et TIPY de l'INSA de Lyon : il s'agit d'un pilotage à distance et d'un prototype générique d'un environnement de Télé-TP qui traite le cas d'un magasin vertical.
- Remote Electronic Laboratory (REL) (Auer, 2000).
- La Start up Educafix⁵ : à l'origine c'était le projet « BAGHERA » développé dans un contexte d'e-formation destiné pour les enfants et les hospitaliers. Ce projet est étendu après pour s'adapter aux sciences expérimentales.
- Evariste⁶, TPLine⁷, TELEROBOT Australien⁸.

⁵ Disponible sur <http://www.educafix.com> (Consulté le 20/09/2011)

1.3.2.7 Les laboratoires virtuels (LV)

Il existe plusieurs définitions des laboratoires virtuels dans la littérature. Selon (James, 1999), un laboratoire virtuel est défini comme : « *un espace de travail électronique pour la collaboration à distance et l'expérimentation dans la recherche ou dans d'autres activités créatives, en vue de générer et de diffuser des résultats au moyen de technologies partagées de l'information et de la communication* ». Cette définition désigne beaucoup plus les laboratoires de recherche que les laboratoires scientifiques et techniques. (Alexiou, Bouras, Giannaka, 2004) définissent les laboratoires virtuels comme étant *des environnements informatiques qui simulent les expériences qui peuvent avoir lieu dans un laboratoire réel en utilisant la technologie de la réalité virtuelle*. (Saliha-Hassan, 2011) caractérise les laboratoires virtuels par des simulations de scénarios expérimentaux modulaires conçus pour être mis en œuvre à partir d'un ou plusieurs ordinateurs. Les modèles mathématiques sont mis à contribution pour s'approcher le plus près de la crédibilité des simulations représentant des concepts théoriques ou des dispositifs réels. Dans certains cas, il n'est pas possible de simuler des scénarii expérimentaux ou le comportement de dispositifs réels. C'est le cas où les modèles mathématiques sont trop complexes, par manque de disponibilité de puissance de calcul ou quand les délais des traitements informatiques sont longs. Par conséquent, le recours vers les laboratoires réels à distance est une solution prometteuse.

D'après ces définitions, nous proposons la notre : « *les LV sont des environnements virtuels de Télé-TP, qui permettent aux apprenants la réalisation des expériences d'une façon individuelle ou collaborative via les programmes de simulation* ».

⁶ Association Evariste : Etudes et valorisations des applications de la recherche en Informatique sur les systèmes tutoriels d'Enseignements. Disponible sur : <<http://associationevarist.net>> (Consulté le 20/09/2011)

⁷ Les travaux pratiques de sciences industrielles sur des systèmes en fonctionnement en temps réel. Disponible sur : <http://www.tpline.net/index.php> (consulté le 20/09/2011)

⁸ Le Télérrobot australien. Disponible sur : <<http://www.telerobot.mech.uwa.edu.au/Telerobot/index.html>> (Consulté le 20/09/2011)

❖ Caractéristiques

Les laboratoires virtuels sont basés sur des simulateurs. Dans le cas idéal, ils ont les mêmes potentiels qu'un laboratoire traditionnel. Parmi leurs caractéristiques :

- Accessible partout et en tout temps.
- Requiert des connaissances spécialisées (conception pédagogique, médiatisation, programmation, etc.).
- Retour pédagogique intéressant (dans l'idéal)

❖ Classification des laboratoires virtuels

Plusieurs classifications ont été proposées par les chercheurs en fonction des critères suivants:

- La dimension spatiale : les interfaces graphiques peuvent être en 2D ou 3D. Les interfaces 3D utilisent la technologie de la réalité virtuelle.
- La dimension géographique : il s'agit d'une simulation locale, distante ou distribuée.
- Le degré de spécialisation : spécifique à un domaine ou général.
- L'implication de l'apprenant : il existe des laboratoires immersifs et d'autres observationnels. Le caractère immersif entraîne l'intervention de l'apprenant à tout instant dans la simulation. Par conséquent dans ce type de laboratoire, le degré d'interaction est très élevé. Par contre, le caractère observationnel limite l'intervention de l'apprenant auprès de la simulation.
- Etc.

Nous pouvons déduire que ces classifications relèvent de la classification de la simulation (locale/distante, interactive ou non, ...) puisqu'elle constitue le cœur d'un laboratoire virtuel.

❖ Quelques projets

- Le projet LVEST (Laboratoires Virtuels pour l'Education en Science et Technologie) : D'après (Lelevé, Meyer, Prévôt, 2002), ce projet offre une plateforme pluridisciplinaire de Télé-TP où le travail expérimental repose sur la simulation interactive d'expériences, la télémanipulation et la télémessure. Ce projet contient plusieurs laboratoires en ligne tels que le laboratoire virtuel de génie électrique, le laboratoire de Génie Informatique et le laboratoire virtuel en mécanique (VPLAB)⁹. Ces laboratoires présentent un environnement de simulation tenant compte des technologies novatrices émergentes relatives au développement des produits commerciaux en instrumentation et mesure, visant l'apprentissage de la démarche expérimentale et des concepts scientifiques à l'œuvre dans les expériences simulées.
- Le projet eMersion¹⁰ : L'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) a fait des recherches dans le domaine des laboratoires en ligne par le biais du projet eMersion du département de génie mécanique. Le projet eMersion a pour but de réintroduire l'apprentissage par l'erreur dans la formation des ingénieurs en développant et en flexibilisant les possibilités de simulation en réalité virtuelle et d'expérimentation en laboratoire. Un corollaire est de favoriser la rénovation du schéma actuel d'études grâce à la mise à disposition de moyens alternatifs de conduite d'activités pratiques, essentiels tant sur le site qu'à domicile (Saliah-Hassan, 2011).
- Le projet VITELS (laboratoire Virtuel de TELécommunications pour la Suisse) : Ce projet fait partie du projet Campus Virtuel Suisse (Zimmerli, Steinemann, Braun, 03). Le but du projet VITELS est d'accompagner les cours théoriques par un ensemble de travaux pratiques effectués à distance.

⁹ <http://www.licef.teluq.quebec.ca/gmec/vplab/lvp.htm> (consulté en 2010).

¹⁰ <http://elearning.epfl.ch> (consulté en 2010).

- Le projet VLab¹¹ : Il est développé par Networking Center et Poznan Supercomputing avec la collaboration de l'Institut de chimie bio-organique. L'objectif principal de ce projet est la création d'un framework pour la construction de différents types de laboratoires. Il permet aux apprenants de définir le processus de l'expérimentation du pré-traitement, passant par la manipulation, au post-traitement (Lawenda, Meyer, Stroinski, Gdaniec, Adamiak, 03).
- Le laboratoire virtuel de radio-pharmacie : C'est une simulation 3D d'un laboratoire réel de radio-pharmacie où les apprenants sont représentés par des avatars 3D, qui peuvent expérimenter sur des équipements de radio-pharmacie par l'exécution des scénarii d'apprentissages spécifiques. Ce laboratoire a été implémenté dans le Framework du projet Européen VirRAd qui a pour objectif principal de servir la communauté radio-pharmaceutique sur le Web (Alexiou, Bouras, Giannaka, 2005).
- Le projet Nano World : Est un laboratoire virtuel qui permet d'avoir des informations sur la nanotechnologie accomplissant les cours classiques de physique. Ce laboratoire permet aux apprenants d'exécuter des expériences nano-scientifiques réelles dans les universités et les écoles supérieures (Pankov, Karaminkova, 2004).
- Le laboratoire virtuel des démonstrations des processus physiques (VIRTLAB) de l'Université John Hokins¹² : C'est un laboratoire basé sur le Web pour la démonstration des procédés physiques et des circuits électriques.
- Université de Jersey¹³ offre aussi un accès à ses LV avec différents simulateurs de mécanique, d'astrophysique et la thermodynamique (Fakas, Nguyen, Gillet, 2005).

¹¹ <http://vlab.psnr.pl/> (Consulté en 2010)

¹² <http://www.jhu.edu/virtlab/virtlab.html> (Consulté en 2010)

¹³ <http://jersey.uoregon.edu> (Consulté en 2010)

- GranuLab : un système d'aide à la découverte scientifique appliqué à la physique des milieux granulaires. Il permet de comprendre les aspects relevant de la dynamique des réseaux de force (Breton, Zucker, Clément 1999).
- Projet de création d'une paillasse scientifique virtuelle (Baudouin, 2007) : C'est un Environnement Virtuel d'Apprentissage Humain (EVAH) pour la réalisation des travaux pratiques en physiques.

1.3.3 Synthèse

Malgré que de nombreux chercheurs (Lelevé, Meyer, Prévôt, 2002) (Xuemin, Gangbing et Yongpeng, 2010) aient déclaré que les travaux sur les laboratoires virtuels et les laboratoires réels à distance sont très peu, nous avons pu rassembler quelques un (les travaux cités dans les sections 1.3.2.6 et 1.3.2.7) et faire une étude comparative (voir tableau 1). Cette étude porte sur plusieurs facteurs dont la dimension spatiale/temporelle, communication, interaction, collaboration, matériels, documentation et horaires.

Tableau 1. *Comparaison entre les laboratoires*

Les laboratoires Les critères	Traditionnel	Réel à distance	Virtuel
Matériels	Réel	Réel	Virtuel
Communication	Directe	Chat, Forum ...	Chat, Forum ...
Horaire	Mode Précis	Mode Précis	Mode Libre
Distance	Endroit Physique	A distance	A distance
			Local
Collaboration	Très forte	forte	Moyenne
Documentation	Limitée	Illimitée	Illimitée

D'après cette comparaison, l'apprentissage dans des laboratoires traditionnels restera limité à cause des contraintes de temps, manque de documentation, les pannes que subissent le matériel utilisé et l'impossibilité de le remplacer du fait du coût élevé. Ces limitations influent négativement et donnent de mauvaises performances au cours de la réalisation des travaux pratiques. Ces performances ne peuvent toutefois être considérées comme satisfaisantes. Donc, le recours vers les laboratoires virtuels est une solution prometteuse surtout avec l'ère des TIC et Internet. Ce type de laboratoire permet de dépasser les limites des laboratoires traditionnels. Il remplace la séance de laboratoire traditionnel avec installations physiques en proposant un protocole d'expérimentation entièrement réalisable sur ordinateur. L'accès à ces laboratoires est soit via Internet (laboratoires basés sur le Web) ou bien localement c'est-à-dire qu'il s'agit des applications autonomes ; l'utilisateur doit les télécharger puis installer et enfin les exécuter (dans ce cas, il s'agit de e-formation). La collaboration est moyenne.

1.4 Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la définition de notre contexte d'étude : les laboratoires virtuels. Pour ce faire, nous avons eu dressé une chronologie des EIAH ainsi un aperçu des modes de formations existants. Ensuite un panorama des environnements d'apprentissage des TP/Télé-TP a été abordé. Le tour d'horizon sur les laboratoires virtuels nous a permis de mettre en évidence un certain nombre de problèmes liés aux:

- Soutien et contrôle : les apprenants dans ces environnements sont livrés à eux-mêmes. Un outil de soutien et de contrôle est nécessaire afin d'aider les apprenants dans le bon accomplissement des activités et éliminer leur isolement social.

- La collaboration virtuelle¹⁴ : Dans les sciences expérimentales, les apprenants correspondent entre eux et avec un tuteur en présence. La collaboration augmente la flexibilité du processus de réalisation d'un Télé-TP.
- Les simulations : il ne faut pas se baser sur des simples animations mais plutôt utiliser des simulations interactives.

Par la suite, une architecture d'une plateforme de type laboratoire virtuel sera proposée et conçue. Pour que cette plateforme assure des expérimentations à distance effectives, les aspects pédagogiques et les modalités d'apprentissage doivent être considérés sérieusement.

¹⁴ La collaboration virtuelle est l'équivalent de la collaboration motrice dans un monde virtuel (télé-immersion).

Chapitre 2 : Proposition d'une Architecture générale de CVL@b

2.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons mettre l'accent sur les laboratoires virtuels ; on va présenter notre proposition d'une architecture pluridisciplinaire, en espoir qu'elle puisse accomplir les objectifs pédagogiques attendus de ce genre de plate-forme et remédier les problèmes rencontrés dans des laboratoires traditionnels.

2.2 Du laboratoire conventionnel au Télé-Laboratoire

L'apprenant est l'acteur le plus actif dans une situation d'apprentissage. Il cherche à évaluer et compléter son savoir théorique acquis à travers la réalisation des TP. Dans un laboratoire conventionnel, lorsqu'un apprenant désire résoudre un TP, il doit lire la feuille de TP appropriée. Au niveau de la résolution, l'apprenant manipule des instruments et utilise des produits. Durant toutes les étapes d'un TP, l'apprenant se charge de prendre des notes ou garder des résultats. L'enseignant à son tour peut soutenir les apprenants et évaluer leurs résultats.

Cette situation présente des fois de nombreuses limitations telle que : les restrictions de temps et lieu (horaires), la pression du temps limité, le coût élevé des instruments et produits, non disponibilité de feuilles de TP, impossibilité de répéter l'expérience, etc.

Les limitations des laboratoires conventionnels dans certaines situations et en tirant profit des avantages des TIC, nous ont poussé à la réflexion sur la possibilité

de réalisation des travaux pratiques à distance au sein d'une nouvelle structure (Télé-Laboratoires) comme le montre la figure 4.

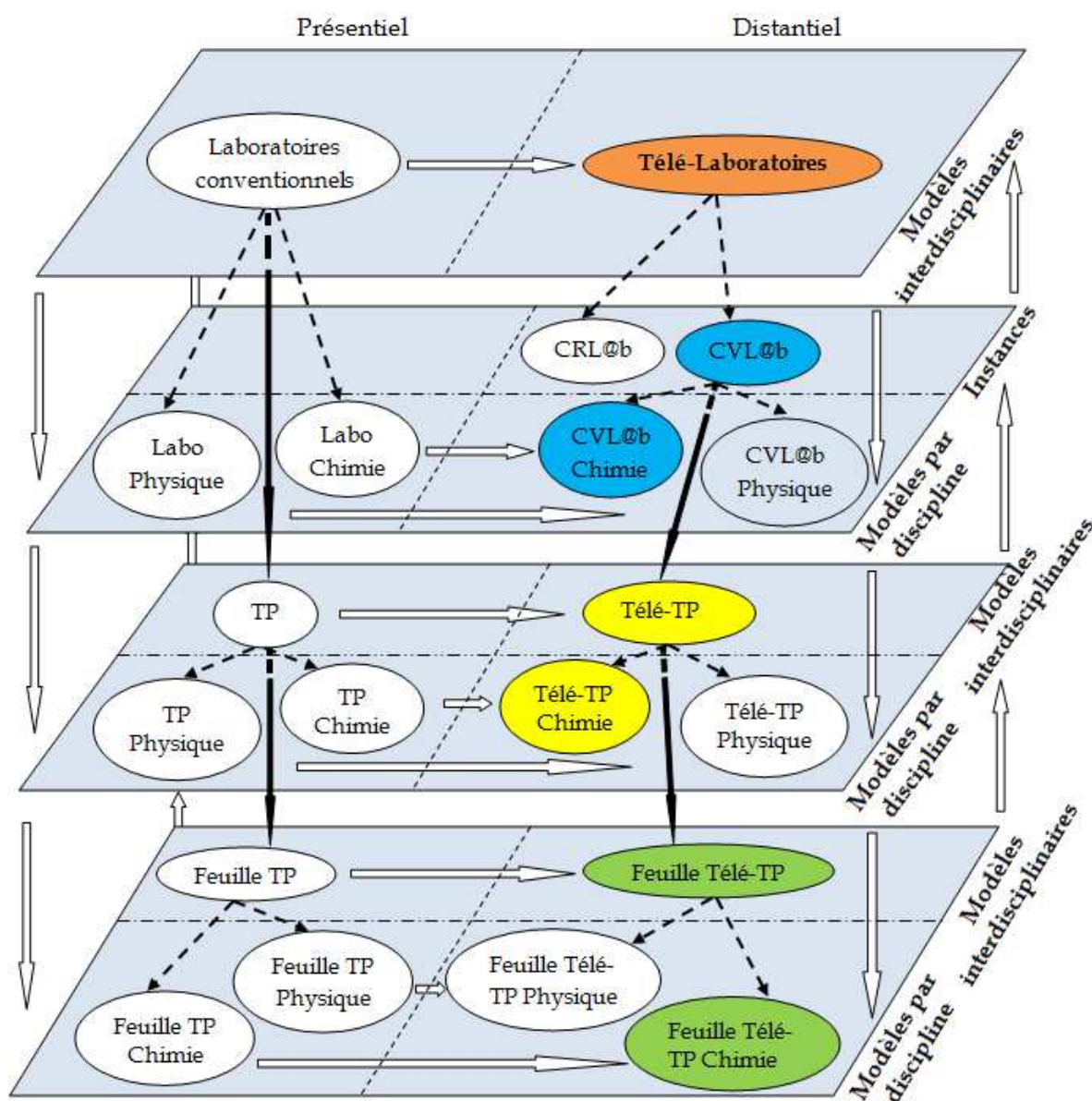


Figure 4. *Modèles de Télé-Laboratoires*

Le passage du conventionnel au mode à distance a introduit donc de nouveaux concepts : Télé-laboratoire, Télé-TP et feuille de Télé-TP. Les Télé-Laboratoires sont des environnements numériques destinés pour l'exécution des Télé-TP. Il existe deux alternatives de ces laboratoires: les laboratoires réels à distance et les laboratoires

virtuels. Les laboratoires réels à distance sont des environnements où les apprenants peuvent interagir à distance avec des expériences réels contrairement aux laboratoires virtuels. Une feuille de Télé-TP est un document électronique contenant les scénarios des Télé-TP.

2.3 Contexte

Les Télé-TP sont une alternative très intéressante aux TP classiques (Bouabid, Salmi-Bouabid, 2005) grâce aux gains économiques réalisés et l'ouverture à des publics qui n'avaient pas accès à un matériel technologique sophistiqué pour ce genre de situation d'apprentissage. En plus un Télé-TP est l'occasion par excellence pour des échanges intenses entre apprenants et tuteurs favorisant les conflits sociocognitifs et donc facilitant l'apprentissage individuel et collaboratif à travers les interactions sociales.

Dans notre contexte, nous cherchons à apporter une solution à la question de mise à distance des travaux pratiques, pour mener à bien le processus d'enseignement/apprentissage. Cette solution vise à résoudre les problèmes rencontrés dans cette nouvelle situation.

Pour cela, nous nous focalisons sur les plates-formes de type laboratoires virtuels afin de pallier aux problèmes des laboratoires conventionnels et offrir à l'ensemble apprenant/enseignant une architecture agréable traitant les différents scénarii des Télé-TP. Les laboratoires virtuels qui ont su tirer profit des nouvelles technologies d'apprentissage et qui ont les avantages potentiels comme la réduction des coûts d'apprentissage, la souplesse des horaires, la flexibilité de diffusion et l'accessibilité plus grande à l'apprentissage.

Notre plate-forme doit répondre aux critères de :

- o **Généricité** : Vu que le nombre de disciplines scientifiques, techniques et expérimentales enseignées est limité (Levert, Pierre, 2000), alors, il est possible d'établir une plateforme générique de Télé-TP. La mise en place de telle

plateforme nécessite la collaboration avec des enseignants en sciences expérimentales (Chimie, Physique, etc.), de didacticiens et des pédagogues, d'ergonomes pour une modélisation générique adéquate.

- o Collaboration : L'apprentissage collaboratif/coopératif marque la construction de l'apprentissage par les apprenants eux-mêmes. Il s'appuie sur une pédagogie à base de communication interactive entre les apprenants dont l'enseignant reste le maître d'œuvre. Cette interactivité passe par la prise en considération de ce que les apprenants peuvent s'apporter les uns aux autres.

L'enjeu de ce chapitre consiste à proposer une architecture pluridisciplinaire baptisée CVL@b (Collaborative Virtual L@boratory) pour la Télé-expérimentation sur le Web. Cette architecture permet donc d'effectuer des Télé-TP et des expériences sur des dispositifs virtuels en sciences expérimentales d'une façon collaborative. Les formateurs pourraient conduire la mise en œuvre de séances interactives d'instructions de Télé-TP à l'aide de scénarii appropriés, utilisant ainsi la métaphore de la feuille de Télé-TP.

2.4 Vue d'ensembles de CVL@b

La structure générale proposée (Mechta, Djoudi, Harous, Douar, 2006) d'un laboratoire virtuel de Télé-TP est illustrée par la figure 5. Elle est composée de deux couches :

- 1- La première couche constitue le noyau du laboratoire virtuel ; celle-ci est composé à son tour de composantes pédagogiques (feuille de Télé-TP, Manipulation, Objets virtuels et Résultats).
- 2- La deuxième couche constitue l'élément essentiel pour les laboratoires virtuels : les interfaces. Elles jouent le rôle d'une passerelle de communication entre les différents acteurs participant dans le laboratoire virtuel par la permission d'établir des interactions entre le noyau, les acteurs du processus d'enseignement/apprentissage et les ressources pédagogiques (le fond documentaire). L'ensemble (Noyau, Interface) est appelé un laboratoire virtuel.

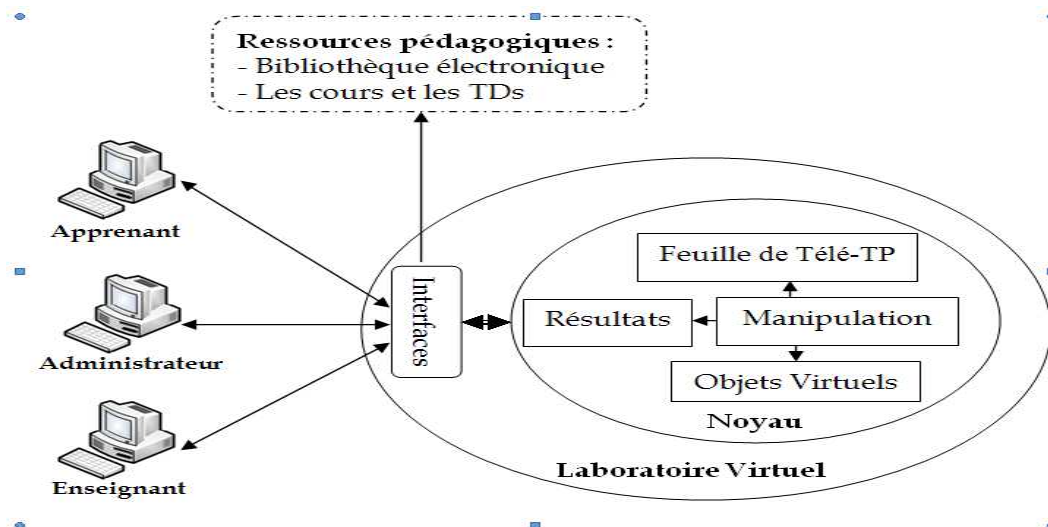


Figure 5. *Structure générale d'un laboratoire virtuel*

L'ergonomie selon (Falzon, Teiger, 1999 ; Bastien, Scapin, 1993 ; Schneiderman, 1992 ; Schneiderman, 1998) est jugée indispensable pour le bon acheminement du travail pédagogique. Elle est un facteur très important pris en considération lors la conception du laboratoire virtuel du fait qu'elle lui ajoute une notion de réalisme par le respect de ses critères. Ce réalisme est traduit par l'appel à l'imagerie 3D.

Les principaux acteurs présents dans le laboratoire virtuel sont :

- L'enseignant : est un moyen au service des apprenants pour qu'ils puissent arriver aux objectifs visés. Selon le rôle de l'enseignant dans le processus d'enseignement/apprentissage, on déduit la classification de cet acteur. La première classe regroupe les enseignants constructeurs des contenus pédagogiques (cours, feuille de TD, feuille de TP, les solutions, les tests,...). La deuxième catégorie concerne les enseignants tuteurs. Ces derniers ont comme tâches, l'animation des séances de laboratoire qui est assurée par des outils de communications synchrones ou asynchrones.
- L'apprenant : Acteur capital, il est au cœur du processus d'apprentissage car il est le seul à pouvoir transformer les informations qu'il reçoit en connaissances appropriées, ce qui est le but de l'apprentissage. Il peut exploiter les différents

outils pour consulter les cours, résoudre les exercices, communiquer avec les autres acteurs, réaliser les travaux en autonomie ou les travaux de groupes.

Le noyau est le moteur du laboratoire virtuel. A chaque début d'une activité pédagogique de Télé-TP, les apprenants doivent consulter leur feuille de Télé-TP. Cette dernière est un document pédagogique électronique qui sert à guider les apprenants tout au long de leurs activités. Elle contient l'énoncé du travail à faire ainsi les consignes que l'enseignant a suggéré. Après la consultation des feuilles de Télé-TP, l'apprenant maintenant va procéder à la manipulation.

Les apprenants sont amenés à effectuer des simulations interactives en laboratoire virtuel par l'utilisation des programmes de simulation d'expérience qui sont bien conçus et extrêmement actifs. Durant cette étape, les apprenants utilisent des objets virtuels qui sont des outils (produits, matériels,...) qui reflètent les objets réels utilisés dans les travaux pratiques présentiels. Pour leur conception et mise en œuvre, les techniques de la réalité virtuelle offrent une panoplie de fonctionnalités dans l'espace 3D.

Les résultats des différentes manipulations ainsi les rapports rédigés par les apprenants sont stockés dans un casier numérique (Mhiri Sellami, 2005). Ce dernier d'après (Goupil, 1998 ; Muller, 1999), est un journal de bord, un processus, une démarche d'apprentissage et une évaluation formative qui aide, d'un côté, l'apprenant à apprendre et à se développer et d'un autre côté, l'enseignant à prendre des mesures pour aider l'apprenant à améliorer son apprentissage. Parmi, les types de pédagogie qui fondent la pratique du portfolio, nous avons le cognitivisme et le constructivisme (Perrenoud, 1991).

Les ressources pédagogiques (bibliothèque électronique, les cours, les TD,...) sont considérées comme une des facettes les plus importantes de l'informatique documentaire. Leur présence enrichit les acteurs et beaucoup plus l'apprenant qui l'exploite afin d'éclaircir les points ambigus dans son activité pédagogique.

2.5 Architecture de CVL@b

Dans cette section, nous proposons une architecture (voir figure 6) notamment par la création des différents systèmes. Ces derniers travaillent en harmonie afin d'offrir des services pour la communauté d'enseignement/apprentissage du laboratoire virtuel.

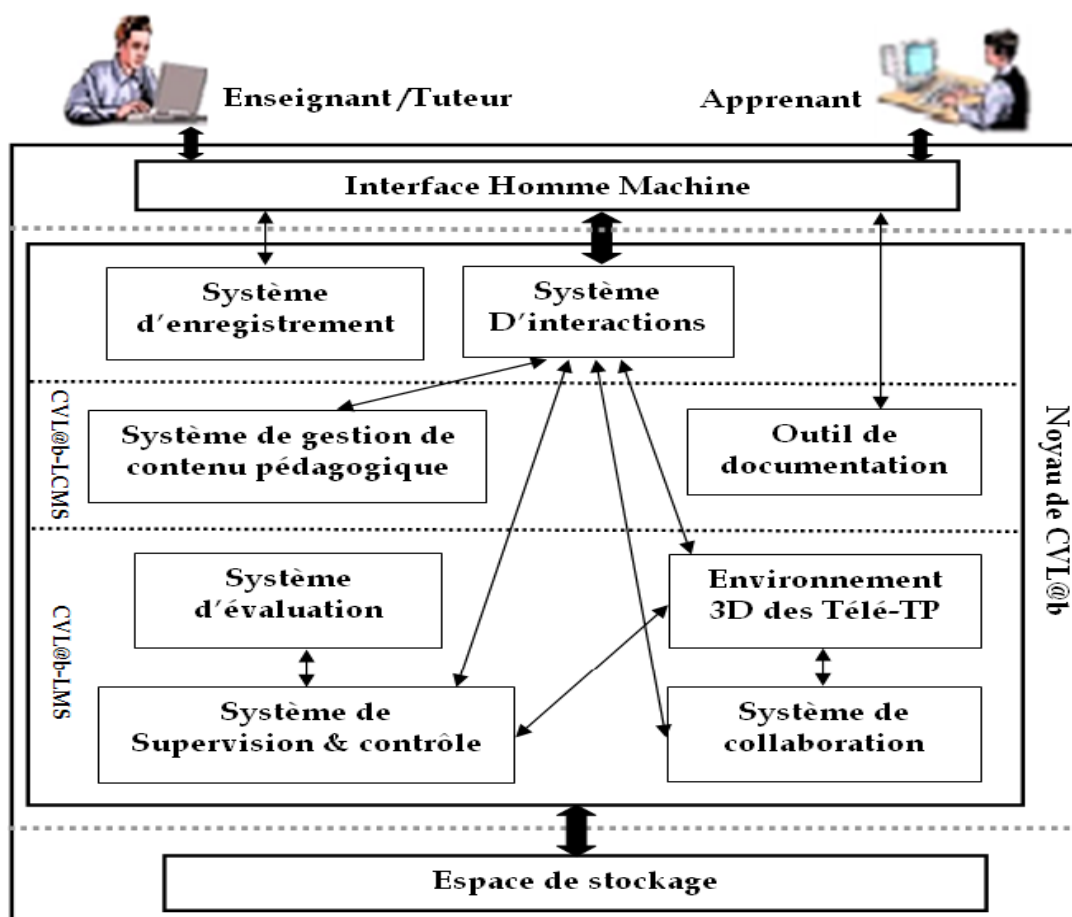


Figure 6. Architecture de CVL@b

Cette architecture est structurée en trois niveaux : niveau interface homme-machine, niveau noyau et niveau espace de stockage.

Le noyau est composé de deux principaux systèmes CVL@b-LCMS (Learning Content Management System) et CVL@b-LMS (Learning Management System) ainsi le système d'interactions et celui d'enregistrement.

CVL@b-LCMS est architecturé autour d'une gestion de contenus pédagogiques (LCMS-PWS) (Mechta, Harous, Djoudi, Douar, 2007b) et d'une gestion des ressources documentaire concrétisées par une bibliothèque électronique (LCMS-EL) (Harous, Mechta, Djoudi, 2006).

CVL@b-LMS se charge à la gestion de l'apprentissage par le biais d'un ensemble de sous-systèmes: environnement 3D des Télé-TP, système de supervision & Contrôle (LMS-SCT : Supervisor and Control Tool), système de collaboration et enfin le système d'évaluation des apprenants.

2.5.1 Système d'enregistrement

Il s'agit des fonctionnalités d'inscription et connexion/déconnexion. Avant toute action dans CVL@b, les utilisateurs (Apprenants, enseignants et administrateur) doivent s'inscrire. Après cette phase, l'utilisateur pourra se connecter afin d'accéder à CVL@b et même se déconnecter lorsqu'il désire fermer sa session.

2.5.2 Système d'interactions

Ce système traite l'ensemble des interactions présentes dans la plateforme. Ces dernières sont des actions qui permettent d'introduire un certain dynamisme dans CVL@b. Dans notre architecture, il existe trois types d'interactions: interactions Homme-Système, interactions Homme-Homme et interactions Système-Système. Les interactions entre les différents acteurs, les ressources pédagogiques et le laboratoire virtuel sont réalisées via une interface, résumées dans la figure 7.

Pour que les utilisateurs (Enseignants, Tuteurs et apprenants) de CVL@b puissent accomplir leurs tâches, des outils de communication sont à leur portée. Ces outils sont soit asynchrones (Mail or Forum) soit synchrones (Chat).

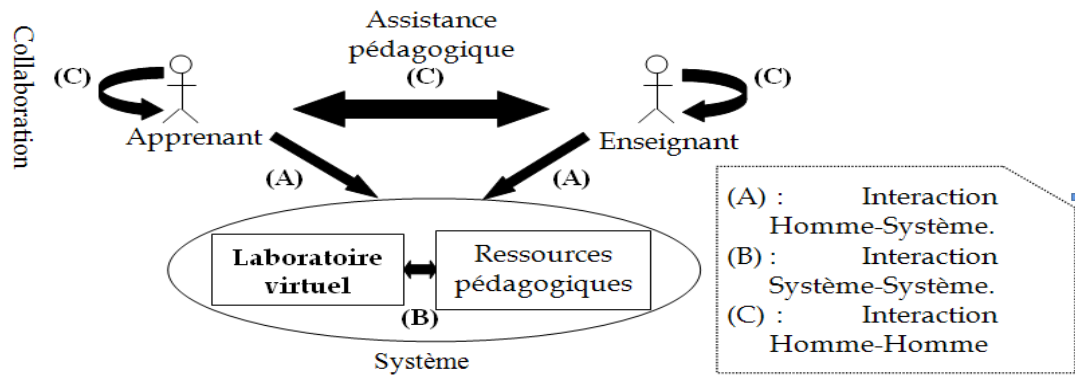


Figure 7. Les différentes interactions présentes dans CVL@b

Interactions Homme-Système (A)

- Consultation des feuilles de Télé-TP.
- Sauvegarde des résultats de la manipulation.
- Résolution des Télé-TP.
- MAJ des contenus pédagogiques.
- Visualisation des résultats des apprenants.
- Evaluation des apprenants.
- Etc.

Interactions Homme-Homme (C) : Cette interaction peut être décomposée selon le type d'actions faites par l'intervenant en deux types ; interactions de collaboration et interactions d'assistance pédagogique :

- Communication entre les différents apprenants pour accomplir un travail collaboratifs.
- Communication entre les enseignants (enseignant constructeur du contenu pédagogique et enseignant tuteur ou animateur d'une séance pédagogique).
- Communication entre le tuteur et l'apprenant : assistance pédagogique.
- Etc.

2.5.3 L'environnement 3D des Télé-TP

L'environnement 3D des Télé-TP (Douar, Harous, Djoudi, Mechta, 2009) est un espace de travail immersif interactif qui simule en temps réel des situations d'apprentissage réelles aussi que possible, même de créer des situations imaginaires irréalisables dans le monde réel. La modélisation de cet environnement se fait en images de synthèse pour solliciter les compétences sensori-motrices de l'apprenant dans le cadre d'une activité portant sur des objets virtuels d'où le recours vers les techniques de la réalité virtuelle (Mechta, Djoudi, Harous, Douar, 2007a).

2.5.4 Système de collaboration

Les Télé-TP collaboratifs sont une forme d'apprentissage qui nécessite le travail en groupe où l'apprenant : accomplit des tâches, exprime des idées, partage des outils, communique avec d'autres apprenants, etc.

Dans CVL@b, la présence d'un système de collaboration se voit primordial pour assurer certaines fonctionnalités telles que : la gestion des groupes d'apprenants, coordination/synchronisation des tâches que réalisent les apprenants en collaboration et partage des espaces de travail des membres du groupe.

Ce système sera détaillé dans le 5^{ième} chapitre.

2.5.5 Système de gestion de contenu pédagogique

Les énoncés des TP constituent des ressources pédagogiques de base et nécessitent tout un système pour leur gestion. Pour la réalisation des travaux pratiques, les apprenants sont amenés à suivre les étapes d'un Télé-TP (Mechta, Harous, Djoudi, Douar, 2006) dont la conception d'un travail pratique se voit nécessaire. Dans cette étape, les apprenants conçoivent leur Télé-TP par l'extraction de l'ensemble des objets virtuels jugés indispensable pour le travail expérimental à partir de l'énoncé du Télé-TP. Cet énoncé, dans les laboratoires conventionnels, est un manuscrit qui sert à guider les apprenants tout au long de leurs activités de travaux pratiques.

Dans le cadre de développement d'un laboratoire virtuel où l'environnement de travail est totalement numérisé, l'idée de faire numériser la feuille de TP s'impose pour s'adapter à cet environnement. Par conséquent, la feuille de TP classique est considérée maintenant comme étant un document pédagogique électronique (feuille de Télé-TP).

D'après (Oppenheim, Smithson, 1999), les bibliothèques numériques sont des systèmes d'information dans lequel toutes les ressources d'information sont disponibles sous une forme traitable par ordinateur, et dans lequel toutes les fonctions d'acquisition, de stockage, de conservation, de recherche, d'accès et de visualisation, utilisent des techniques numériques.

A l'apparition des technologies d'Internet, des TIC et du fait qu'il n'est pas praticable ni acceptable de faire voyager les apprenants à un emplacement spécifique pendant un temps énorme pour chercher l'information nécessaire, de même les apprenants souhaitent de plus en plus l'accès simultané à toutes les ressources de l'information telles que les cours, de n'importe quel emplacement, à tout moment et de n'importe quel dispositif, de même, nous savons très bien l'apport des bibliothèques électroniques, dans le cadre éducatif et ses bénéfices au transfert de la connaissance et du savoir. Alors l'idée de concevoir et la mise en place d'une bibliothèque électronique s'avère nécessaire. L'intégration des techniques récentes de développements avec le contenu numérique distribué améliore l'expérience pédagogique d'apprentissage.

Le système de gestion de contenus pédagogiques a pour objectif d'offrir aux enseignants/apprenants deux sous-systèmes : LCMS-PWS et LCMS-EL (voir chapitre 4). Le premier consiste à développer un éditeur dédié aux feuilles de Télé-TP et aux apprenants la possibilité de les consulter lors d'une activité d'apprentissage des Télé-TP (Mechta, Djoudi, Harous, Douar, 2007b). Tandis que le deuxième porte sur la mise à disposition des apprenants une bibliothèque électronique afin de faciliter la compréhension de leurs travaux pédagogiques dans un processus d'expérimentation à distance. Différents traitements tels que la recherche, la consultation et le

téléchargement seront effectués sur cette dernière pour mieux les servir (Harous, Mechta, Djoudi, 2006).

2.5.6 Système de Supervision & contrôle

Les habiletés de gérer, de diriger et de superviser les apprenants durant le processus d'apprentissage sont des composantes indispensables pour un enseignement et un apprentissage efficaces. Il existe deux possibilités pour soutenir l'apprenant soit en intégrant un soutien totalement informatisé par le biais des Systèmes Tuteur Intelligent(STI) ou faisant intervenir le tutorat humain.

Vu les limites des STI résumées dans l'impossibilité de construire un modèle de connaissances de l'apprenant exploités pour s'adapter à l'apprenant et lui apporter le soutien nécessaire. Alors, ces systèmes ne pourront se substituer entièrement à l'enseignant humain et le tutorat humain peut être vu comme la bonne solution malgré la contrainte temporelle (disponibilité du tuteur tout au long de l'activité de l'apprenant). D'un point de vue technique, c'est un moyen le plus apte à s'adapter à la démarche de l'apprenant et d'un point de vue théorique, le tuteur humain est indispensable vu la relation enseignant-apprenant qui est essentielle dans l'approche socioconstructiviste de l'apprentissage. Autrement, le tutorat humain va surmonter le phénomène d'isolement des apprenants accentués par la distance sociale.

Dans notre contexte du laboratoire virtuel CVL@b, l'approche pédagogique suivie est celle par action APA où les activités prennent la forme de travaux pratiques. Ces derniers se réalisent en groupe ; les membres du groupe partagent l'espace d'expérimentation et rédigent en collaboration un seul compte rendu. Durant le processus de manipulation d'un télé-TP, le groupe d'apprenants a besoin d'un tuteur afin d'accomplir ses tâches. Dans telle situation plusieurs problèmes qui vont se poser :

1. Puisqu'on a adopté le tutorat humain, le tuteur doit être disponible tout au long de la réalisation du travail pratique. Donc, Comment dépasser cette contrainte temporelle ?

2. Le travail pratique se réalise en collaboration, le tuteur doit savoir l'état d'avancement de chaque membre vis-à-vis sa tâche, les difficultés rencontrées ainsi le résultat commun des différents membres afin qu'il puisse prendre les mesures d'intervenir ou diriger. Dans ce cas là, le rôle du tuteur devient très compliqué et par conséquent comment arrive t'il à superviser et contrôler le groupe d'apprenants ?

Notre travail (Mechta, Harous, Djoudi, Douar, belmahdi, 2011) consiste donc à concevoir un système informatique partenaire du tuteur humain pour soutenir le groupe d'apprenants à distance. Ce système permet à un tuteur d'assurer une supervision et contrôle pédagogiques. Il supporte les interventions du tuteur auprès des apprenants et lui permet de percevoir l'activité des apprenants distants en temps réel/temps différé afin de répondre à leurs requêtes ou de prendre une décision d'intervenir auprès d'eux.

Notre système s'articule autour des fonctionnalités suivantes :

- La perception de l'activité du groupe d'apprenants distant; elle inclut la consultation des actions et des productions.
- Le soutien au groupe d'apprenants; il porte sur la communication, le partage de l'espace de travail et la collaboration intra-groupe.

2.5.6.1 Le modèle de l'outil CVL@b-SCT (Mechta, Harous, Djoudi, Douar, 2012)

Nous proposons dans cette section, notre modèle de supervision et contrôle qui permet de :

- Superviser un groupe d'apprenants qui partagent un seul espace de travail.
- Soulager le tuteur et diminuer ses plages horaires; au lieu de superviser les membres du groupe individuellement, le tuteur supervise les activités du groupe en totalité puisque les membres partagent le même espace de travail.
- Renforcer la collaboration et par conséquent améliorer la qualité d'apprentissage.
- Régler la contrainte temporelle moyennant le tutorat en mode asynchrone.

- Avoir un retour sur l'activité des groupes d'apprenants dans le cas où le tuteur est offline utilisant les scènes archivées.

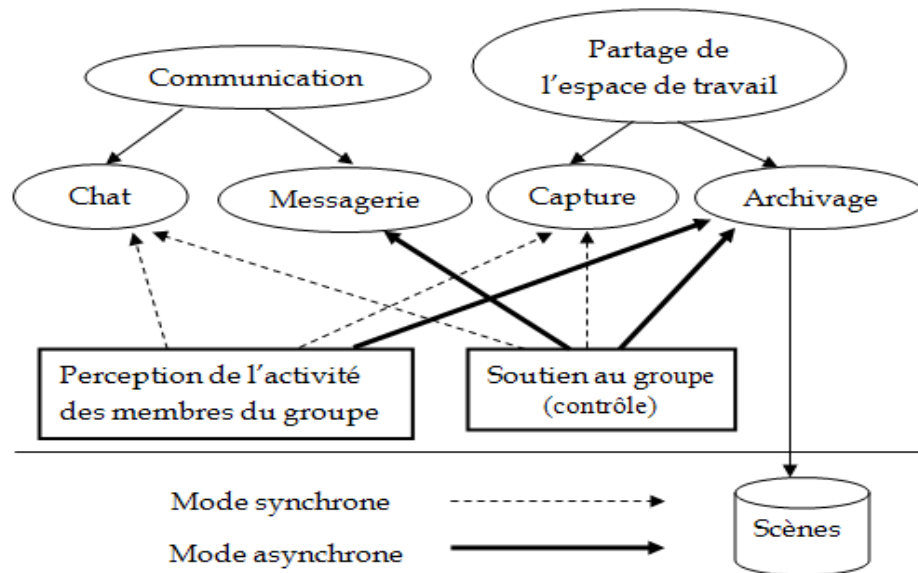


Figure 8. Le modèle de l'outil CVL@b-SCT

Ce modèle décrit les fonctionnalités à intégrer dans CVL@b pour supporter le tutorat synchrone/asynchrone à distance. Il s'articule autour de deux composantes : la supervision de l'activité du groupe et le contrôle du groupe (voir figure8). Chacune de ces composantes fonctionne selon deux modes : synchrone et asynchrone.

o La composante « supervision de l'activité du groupe »

Il s'agit de percevoir les différentes activités réalisées par le groupe d'apprenants. Dans le mode synchrone, le tuteur partage l'espace de travail du groupe ce que lui permet de visualiser les interactions des membres du groupe, savoir l'état d'avancement du travail pratique en cours de réalisation, et le degré de collaboration. Dans le mode asynchrone, le tuteur consulte la base des scènes afin d'avoir un retour sur les activités des groupes d'apprenants.

o La composante « contrôle du groupe »

Le tuteur apporte son soutien synchrone au groupe par le biais de l'espace partagé et l'outil de communication Chat. Dans le mode asynchrone, le tuteur consulte la base des scènes décrivant les sessions déjà réalisées par les groupes d'apprenants et utilise la messagerie électronique pour envoyer ces consignes et directives afin que le groupe d'apprenants les prenne en considération dans une ultérieure session.

2.5.7 Système d'évaluation

L'évaluation est dépendante d'activités proposées par l'EIAH. En effet, l'évaluation menée dans la structure d'une activité collective n'est pas toujours valable dans une activité individuelle. Ce système est initialement alimenté dans CVL@b par les sorties du système de supervision et contrôle. Néanmoins, il exige qu'une modélisation détaillée le perfectionne.

2.5.8 Espace de stockage

Cet espace représente la partie statique de la plateforme. Cette partie est structurée dans un ensemble de base de données telles que :

- Télé-TP : elle contient les différents énoncés des travaux pratiques. Elle est alimentée par le système de gestion de contenus pédagogiques.
- BE : elle représente l'ensemble des ressources pédagogiques nécessaires comme les livres, les cours, les thèses et les articles.
- Objets pédagogiques virtuels : l'ensemble des objets virtuels manipulés.
- Scènes : elle contient les traces de l'apprenant lors la manipulation des expériences. Elle serve l'enseignant dans le processus d'évaluation.

2.6 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre une architecture d'un laboratoire virtuel collaboratif (CVL@b). Cet environnement virtuel permet aux apprenants de réaliser des expériences de travaux pratiques à distance par le biais de la simulation expérimentale d'une manière coopératif/collaboratif et aux enseignants d'éditer l'énoncé des Télé-TP et aux tuteurs de suivre et assister les apprenants.

Chapitre 3 : Architecture multi-agents du CVL@b-LMS

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons spécifier nos besoins selon les aspects pédagogiques et multi-agents de notre système. Du côté pédagogique, notre choix est de mettre en œuvre une pédagogie visant l'apprentissage collaboratif/coopératif à distance. Donc, nous cherchons dans ce chapitre à concevoir un environnement numérique supportant un contexte d'expérimentation collaborative à distance. De l'autre côté, nous éclaircirons plus la notion du Système Multi-Agent (SMA) (Ferber, 1995) dans notre environnement par l'application de la méthodologie d'analyse, de conception et de spécification MaSE. Nous avons choisi cette méthodologie pour plusieurs raisons :

- Une méthodologie qui couvre complètement le cycle de vie d'un logiciel dans les systèmes multi-agents.
- Une méthodologie rigoureuse car les liens entre les étapes et les résultats attendus pour chaque étape sont bien spécifiés.
- Elle utilise pour ses représentations graphiques les techniques d'UML (Unified Modeling Language) (Conallen, 2000).
- Elle utilise aussi des techniques propres au développement des objets et les applique au développement du SMA.
- Elle a la qualité de décrire dans le détail les différentes étapes de la méthodologie.

3.2 Analyse, Spécification et Conception de CVL@b

3.2.1 La phase d'analyse

- Cahier de charge

Notre objectif est de concevoir CVL@b; un environnement numérique interactif de type laboratoire virtuel favorisant l'apprentissage coopératif et/ou collaboratif. Cette plateforme qui assiste la conduite des enseignements à distance regroupe les outils nécessaires aux enseignants/tuteurs, aux apprenants et administrateur afin de compléter leurs tâches. Elle a pour finalité la consultation à distance du contenu pédagogique et la résolution des problèmes sous forme de Télé-TP.

- Les acteurs du système

- L'utilisateur apprenant : il consulte en ligne ou télécharge les contenus pédagogiques qui lui sont recommandés. Il lit le scénario du Télé-TP dont lequel il trouvera les différentes étapes de sa réalisation. Il manipule les objets virtuels de l'espace de travail pour effectuer des Télé-TP et réponds aux questions de l'objectif du Télé-TP. Il peut demander de l'aide au tuteur ou communiquer avec les autres apprenants, partager ces documents. Il peut aussi transmettre les résultats de la manipulation et demander l'évaluation.

L'apprenant a besoin dans son interface de:

- Accéder à la bibliothèque des ressources complémentaires.
- Utiliser des données expérimentales issues d'instruments de mesures.
- Manipuler des objets virtuels et réaliser des Télé-TP.
- Sauvegarder les résultats du travail.
- Rédiger son rapport et demander l'évaluation.

- Echanger des informations et communiquer avec les autres apprenants/tuteurs de manière synchrone ou asynchrone.
- L'utilisateur enseignant : il s'agit d'un enseignant constructeur de contenus pédagogiques. Il peut créer le contenu pédagogique par des outils permettant de retrouver toutes les formes d'informations: les cours, les supports complémentaires, les feuilles de Télé-TP et les références. Il planifie les dates de début et fin du Télé-TP et leurs temps nécessaire ainsi il précise le type du Télé-TP soit individuel ou collectif.

Pour cela l'environnement de l'enseignant doit fournir les fonctionnalités suivantes:

- Création des documents pédagogiques pour les Télé-TP.
- Evaluation du Télé-TP réalisé.
- L'utilisateur tuteur : permet de soutenir les apprenants durant les étapes de réalisation du Télé-TP à travers les outils de communication. Il peut aussi superviser les apprenants et consulter les rapports rédigés par les groupes. Donc, son interface va assurer :
 - Supervision d'un groupe d'apprenants en deux modes différents ; supervision en temps réel si l'apprenant est connecté ou supervision en temps différé si l'apprenant est hors ligne ou déconnecté.
- L'utilisateur Administrateur : il s'agit d'une personne responsable de la gestion de CVL@b en tant que logiciel sur le serveur. Sa tâche réside dans le domaine technique du dispositif. Il a comme rôles:
 - Installation de la plate-forme sur le serveur.
 - Création des répertoires pour les différents modules, chapitres, etc.
 - Gestion des comptes apprenants et enseignants.
 - Gérer le casier des enseignants et le cartable des apprenants.

- Surveiller l'accessibilité au serveur (débit, bande passante,...).
- Surveiller le fonctionnement des bases des données.
- Répondre aux problèmes techniques rencontrés par les apprenants et les enseignants.

3.2.1.1 Le diagramme hiérarchisé des objectifs

La première étape de la méthodologie MaSE est d'identifier les objectifs du système et de les organiser hiérarchiquement sous forme d'arborescence commençant par l'objectif principal puis les sous objectifs qui sont nécessaires pour satisfaire l'objectif du parent.

Dans CVL@b, l'apprenant peut connecter à son propre compte et réaliser les Télé-TP proposés par son enseignant de manière individuelle ou collective.

Tous les objectifs principaux sont cités ci-dessous :

- Chaque utilisateur peut accéder aux services de CVL@b.
- Permettre aux apprenants de réaliser leurs Télé-TP d'une manière individuelle ou collaborative en interagissant avec des objets virtuels.
- Permettre d'accéder à la bibliothèque électronique pour plus d'informations.
- Permettre aux enseignants de créer leurs contenus pédagogiques.
- Permettre aux tuteurs de superviser les groupes d'apprenants en temps réel ou en temps différé et de contrôler leurs activités pédagogiques.
- Offrir la possibilité de communication entre les membres de CVL@b en utilisant des outils de communication synchrone ou asynchrone (Chat, Forum,...etc.).

Tous ces objectifs sont organisés hiérarchiquement dans la figure 9.

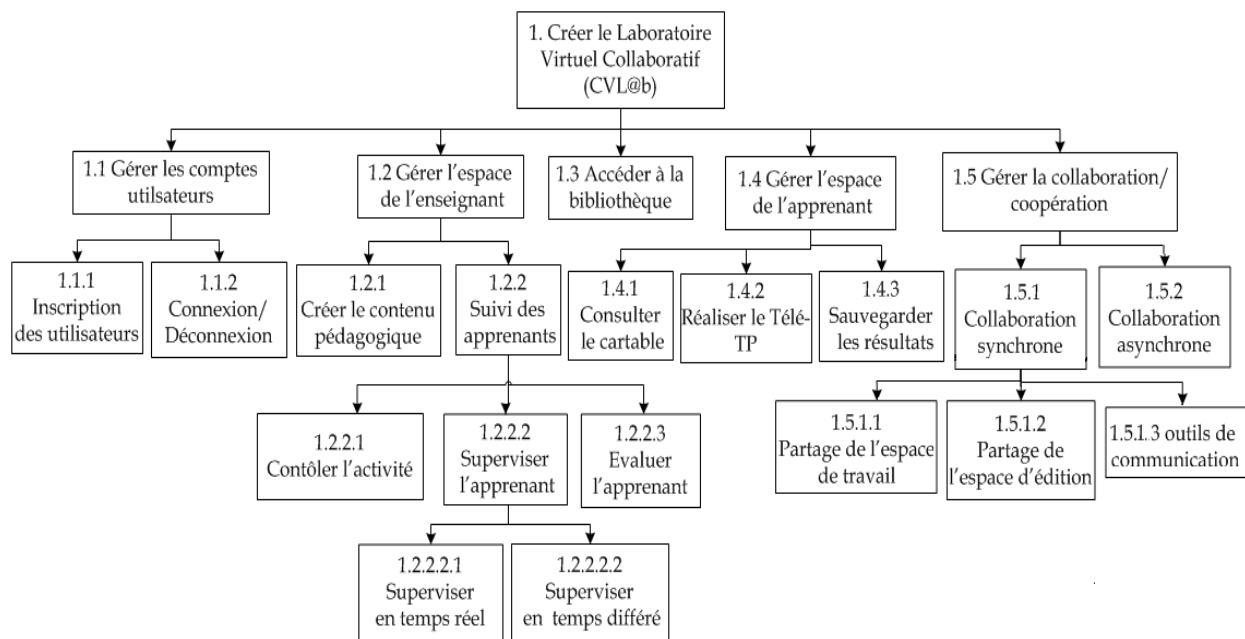


Figure 9. Le diagramme hiérarchisé des objectifs

À partir de ce stade, nous allons présenter les différents diagrammes par système pour mieux comprendre leur fonctionnement.

3.2.1.2 L'application des cas d'utilisation

Afin de permettre aux lecteurs de bien comprendre CVL@b, nous présentons les cas d'utilisations et leurs descriptions. Ils décrivent sous la forme d'actions et de réactions, le comportement du système d'un point de vue utilisateur. La méthodologie MaSE a pour objectif dans cette étape :

- D'extraire les différents cas d'utilisation à partir du cahier des charges.
- Identifier les utilisateurs du CVL@b et leurs interactions avec le système.
- Identifier un ensemble initial de rôles et d'interactions pour le concepteur du système multi-agents.

Les scénarii correspondant aux différents cas d'utilisation que nous avons identifiés en analysant l'expression des besoins, et en précisant les données à partir desquelles le SMA réalisera les objectifs associés, sont décrites en les classant par système.

A. Système d'enregistrement

1. Inscrire: avant que l'apprenant puisse connecter à son compte, il doit s'inscrire d'abord. Pour cela, il doit remplir tous les champs nécessaires tels que le nom, le prénom, la date de naissance, le nom d'utilisateur (Login), le mot de passe (Password), etc.
2. Connecter/Déconnecter: dans ce cas d'utilisation on distingue deux scénarii:
 - Lorsque l'apprenant veut connecter : il doit saisir son nom d'utilisateur et le mot de passe. Le système, après la phase d'authentification (si le nom d'utilisateur et le mot de passe correspondent à l'apprenant), lui permet ainsi l'accès à son cartable ou porte documents. En cas contraire, un message d'erreur lui est transmis.
 - Lorsque l'apprenant veut déconnecter, le système ferme sa session.

Remarque: Les trois Scénarii ; inscription, connexion, déconnexion sont les mêmes pour tous les utilisateurs apprenants, enseignants/tuteurs et administrateur.

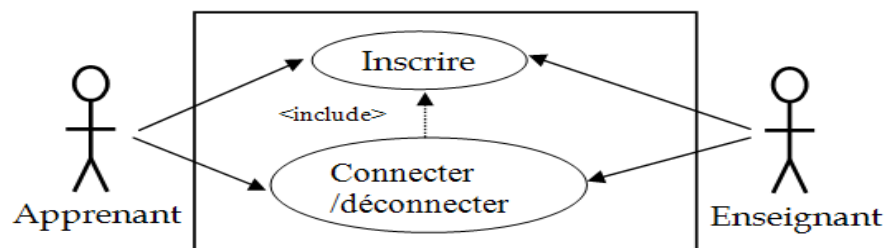


Figure 10. Le diagramme des cas d'utilisation

B. Environnement des Télé-TP

- Lire la feuille de Télé-TP appropriée.
- Réaliser un Télé-TP: le système offre une interface (Espace de manipulation) comportant une liste des objets virtuels où l'apprenant peut réaliser son travail. On distingue deux scénarii dans ce cas d'utilisation :
 1. Réalisation du Télé-TP d'une manière individuelle.
 2. Réalisation du Télé-TP avec collaboration.

- Demander des conseils et/ou Evaluation: le système offre aux apprenants et aux enseignants une zone de Chat qui permet à l'apprenant de communiquer et d'échanger ses connaissances avec les autres apprenants ou demander l'assistance de son tuteur.
- Rédiger le compte rendu : Lorsque l'apprenant termine son travail, l'interface apprenant offre un éditeur de texte partagé qui lui permet de rédiger son rapport en collaboration avec ces collègues puis le sauvegarder et/ou l'envoyer à son enseignant pour l'évaluer.
- Sauvegarder un travail: quand l'apprenant termine son travail ou désire déconnecter, son interface lui permettant de sauvegarder ses résultats tels que les courbes et les rapports rédigés.

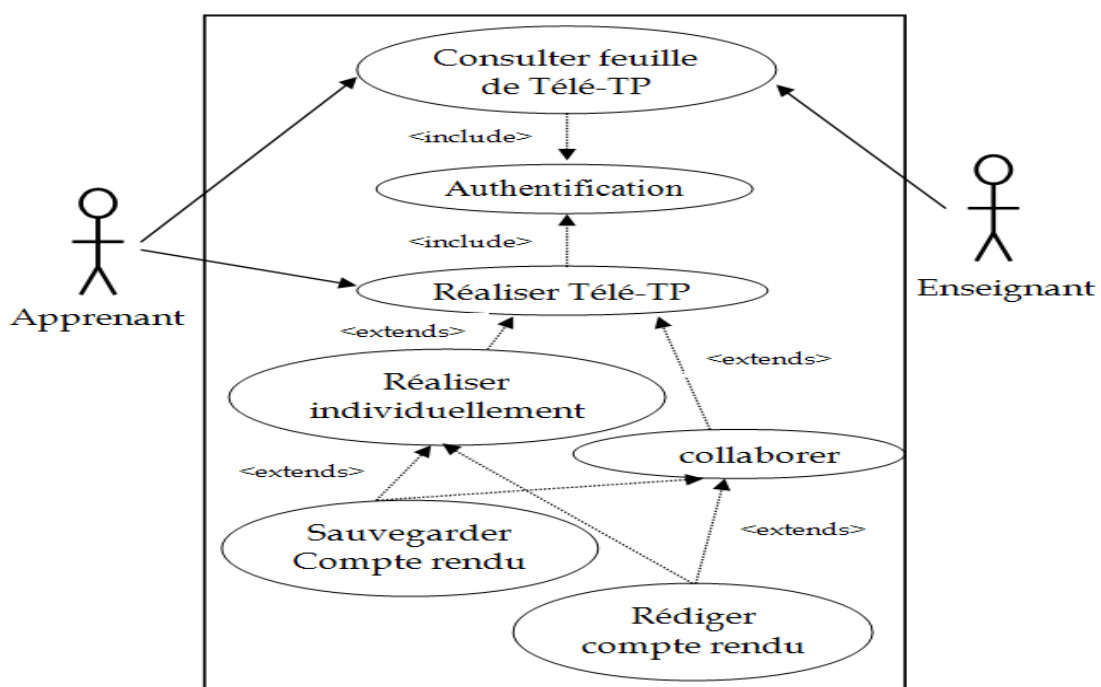


Figure 11. Le diagramme des cas d'utilisation

C. LCMS

- Créer/MAJ du contenu pédagogique: l'interface de l'enseignant offre des outils pour manipuler son casier ; un espace dédié à la création des feuilles de Télé-TP, leur modification et suppression, etc.

Dans cette partie, on s'intéresse à la façon de maîtriser l'information et pas aux acteurs (aspect agent). Donc, elle sera étudiée dans le prochain chapitre (voir chapitre 4) consacré pour le système de gestion de contenu d'apprentissage (LCMS).

D. Système de supervision et contrôle

- Superviser un apprenant : On distingue deux scénarii différents:
 1. Scénario de la supervision en temps réel (supervision synchrone): Lorsque l'apprenant est connecté, le tuteur peut capter l'écran (prendre une image sur l'espace du travail actuel) de l'apprenant.
 2. Scénario de la supervision en temps différé (supervision asynchrone): Lorsque l'apprenant est hors ligne, son tuteur peut consulter l'archive des scènes qui sont captées automatiquement lors d'une session de télé-TP.
- Contrôler les apprenants.

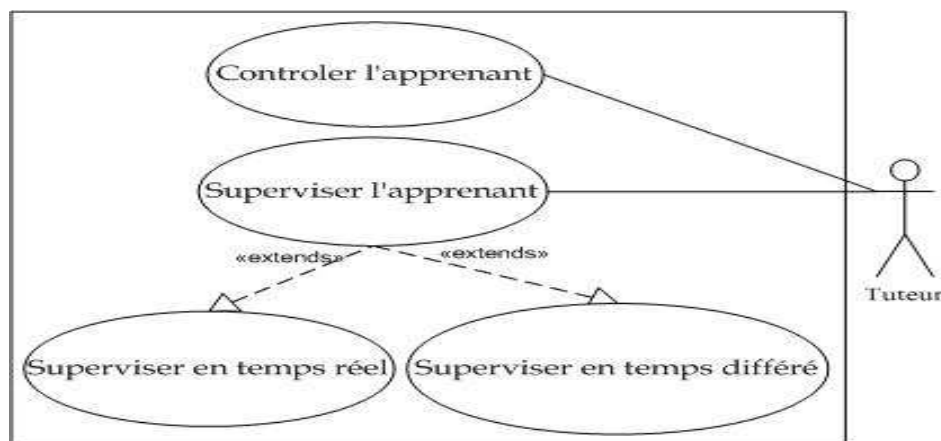


Figure 12. *Le diagramme des cas d'utilisation*

Toutes les opérations, d'ajout, suppression des comptes et des modules ou chapitres sont des procédures assurées par l'utilisateur administrateur. Ce dernier contrôle la plate-forme CVL@b à travers son interface appropriée.

3.2.1.3 Diagramme de séquence

Selon la méthodologie MaSE, les diagrammes de séquences permettent de représenter les interactions entre les différents rôles par un point de vue temporel et on met l'accent sur la chronologie des envois de messages.

Pour l'ensemble de nos cas d'utilisations, nous avons défini les rôles suivants :

- Le rôle R_Connecteur : c'est le rôle initial qui localise le serveur, encapsule toutes les tâches d'inscription et de connexion des utilisateurs et charge leurs interfaces selon leur type (apprenant/enseignant/administrateur).
- Le rôle R_Inter_App, R_Inter_Ens/R_Tuteur et R_Inter_Adm : encapsulant toutes les tâches de la gestion des interfaces utilisateurs.
- Le rôle R_Système: encapsule l'ensemble des tâches d'accès aux bases de données des contenus pédagogiques ainsi les comptes des utilisateurs. Il contrôle aussi l'état global du système.
- Le rôle R_Assistant: encapsule les tâches d'assistance d'un acteur (apprenant/enseignant), il aide l'apprenant dans la réalisation des Télé-TP.
- Le rôle R_Capteur: son rôle est de capter l'écran d'espace de travail de l'apprenant pendant la réalisation de la Télé-expérimentation.
- Le rôle R_Archiveur: ses tâches consistent à enregistrer des scènes de travail ou les rapports rédigés.
- Le rôle R_Workspace (Espace de travail) : encapsule toutes les tâches de la gestion de l'espace de travail et les objets virtuels afin de réaliser le Télé-TP.
- Le rôle R_Superviseur: supervise les apprenants intervenant dans le processus d'apprentissage.

- Le rôle R_Coordonateur: encapsule toutes les tâches de la gestion des groupes et coordonne la réalisation du Télé-TP en groupe.

NB : Chaque groupe d'apprenants a son propre R_Coordonateur.

(A) *Système d'enregistrement*

- Inscription d'un utilisateur : quand l'apprenant veut s'inscrire, il demande l'inscription au R_Connecteur qui lui affiche le formulaire d'inscription. Lorsqu'il remplit tous les champs nécessaires, le R_Connecteur envoie une requête au R_Système qui vérifie les coordonnées dans la base de données. Ce dernier retourne le message de réponse au R_Connecteur (inscription avec succès ou non). Dans le cas d'échec d'inscription, le R_Connecteur demande à l'utilisateur de ressaisir ces coordonnées.

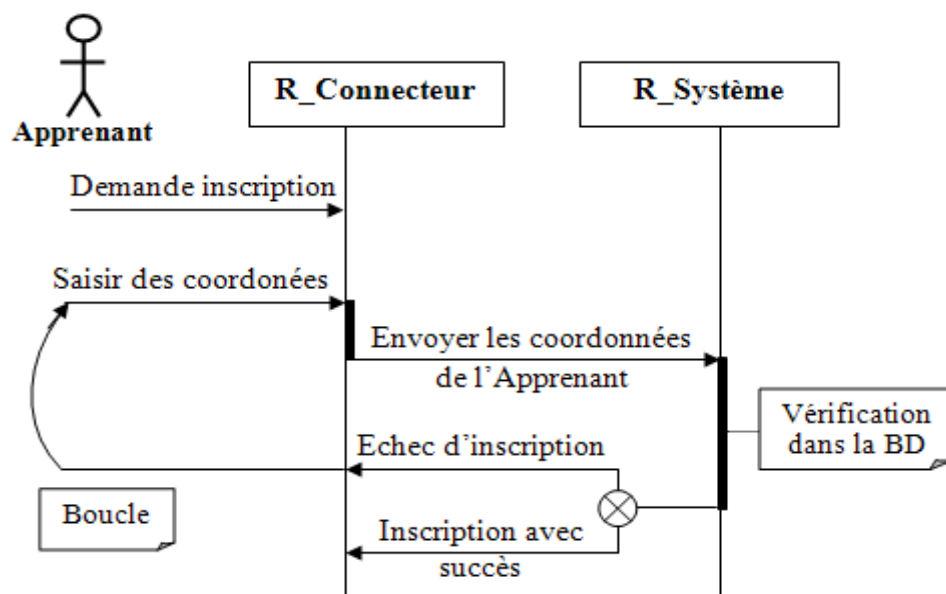


Figure 13. *Inscription d'un Apprenant*

Les mêmes séquences pour l'inscription de l'enseignant et de l'administrateur sauf l'inscription de l'administrateur est autorisée une seule fois lors de l'installation de la plateforme de CVL@b.

- Connexion d'un apprenant : lorsque l'apprenant veut connecter à son compte, il saisie son nom d'utilisateur et le mot de passe où le R_Connecteur se charge de les transmettre au R_Système pour la vérification. Un message d'autorisation d'accès ou d'échec vers le R_Connecteur est envoyé.
 1. Si l'accès est autorisé à l'apprenant:
 - Tout d'abord, le R_Système va créer le R_Coordonateur du groupe dans le cas où il n'existe pas (le cas de connexion du premier membre du groupe),
 - Le R_Connecteur va créer le R_Inter_App qui charge l'interface spécifique du l'apprenant (cartable).
 2. Dans le cas contraire (réception du message « Echec de connexion »), le R_Connecteur demande à l'apprenant de ressaisir ses informations d'indentification.

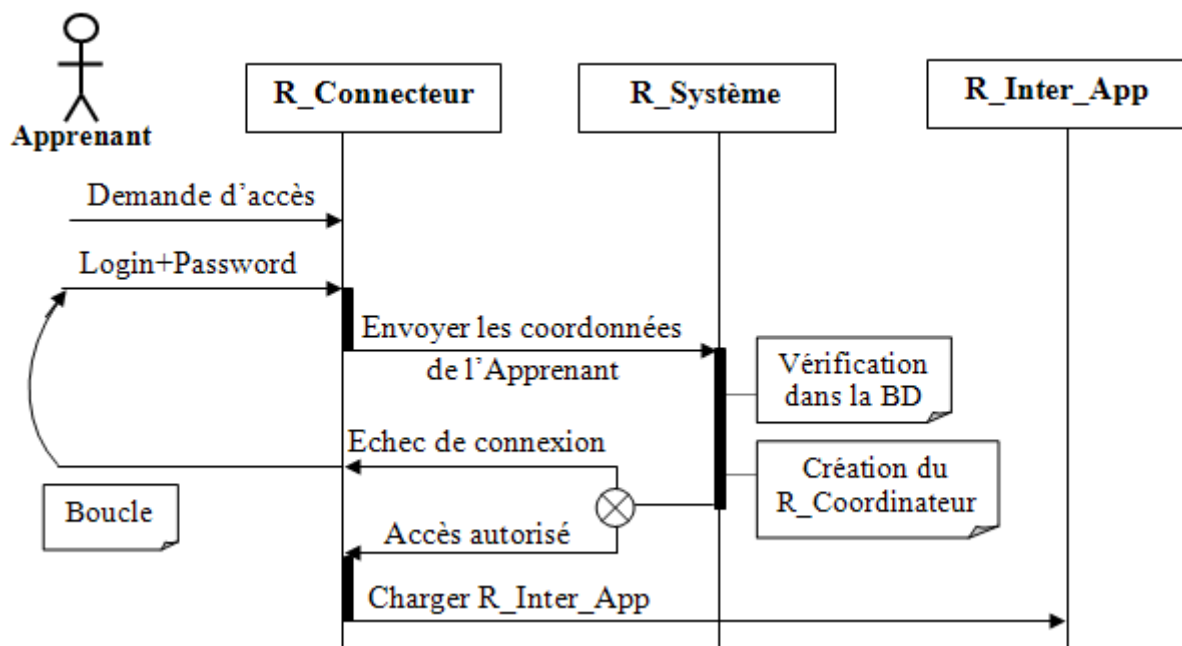


Figure 14. Connexion de l'Apprenant

Le même diagramme de séquence pour les utilisateurs enseignant/tuteur et administrateur mais sans la création du R_Coordonateur par le R_Système.

- Déconnexion d'un apprenant : lorsque l'apprenant veut déconnecter, le R_Inter_App fait une diffusion d'un message de libération du R_Assistant, R_Capteur et R_Workspace. Après que ces trois derniers sont libres, le R_Système envoie un message d'information au R_Coordonateur pour qu'il puisse mettre à jour les informations du groupe (m.à.j de la liste des membres du groupe qui sont connectés) et informer les membres du groupe qu'un membre est déconnecté. Le R_Coordonateur aussi envoie un message vers R_Système pour mettre à jour l'état global du système et envoie un message de déconnexion au R_Inter_App, pour que l'apprenant puisse connecter une autre fois. Le R_Inter_App envoie un message au R_Connecteur pour afficher leur interface.

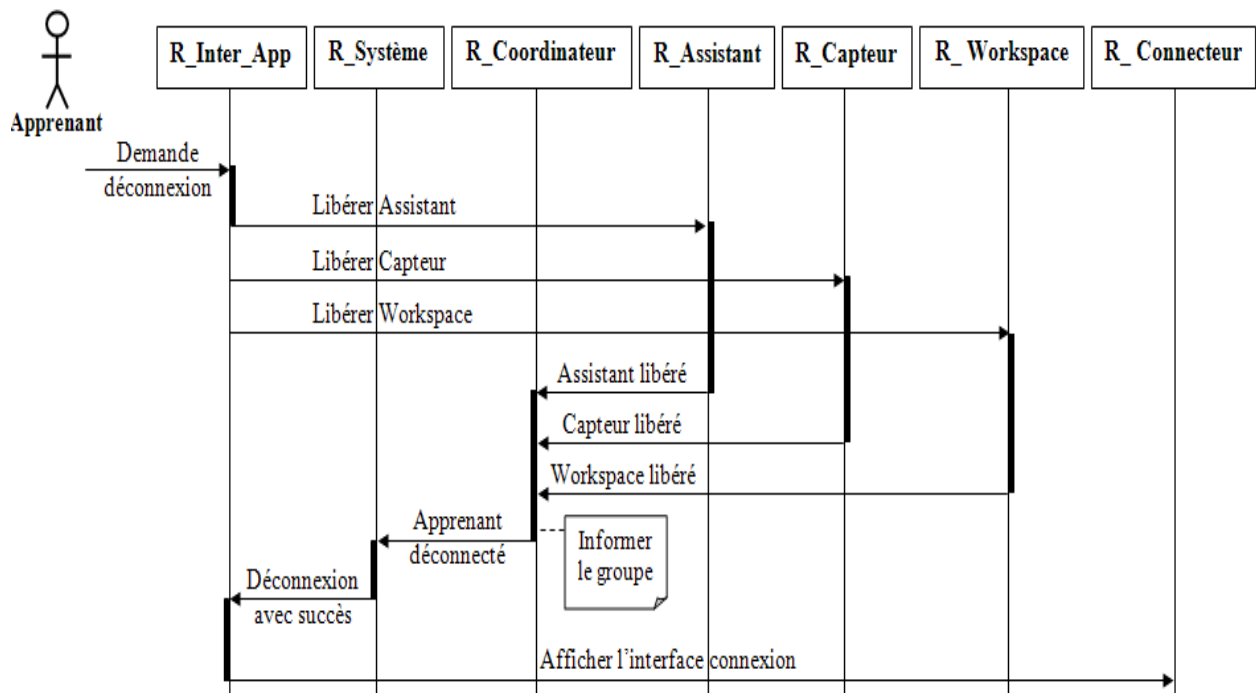


Figure 15. *Déconnexion de l'apprenant*

Le R_Coordonateur sera détruit par le R_Système si et seulement si tous les membres du même groupe sont déconnectés.

(B) Environnement des Télé-TP

- Choix et consultation de la feuille de Télé-TP : quand l'apprenant veut consulter une feuille de Télé-TP, le R_Inter_App envoie un message au R_Système pour extraire la liste des modules, chapitres et Télé-TP correspondante au niveau de l'apprenant à partir de la base de données.

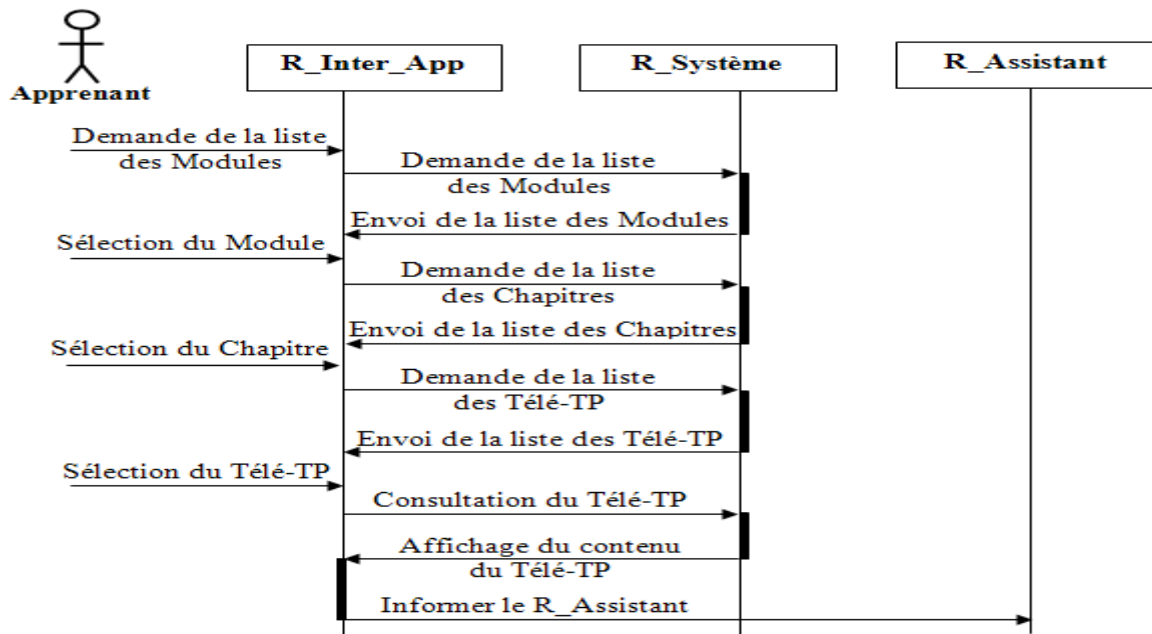


Figure 16. Consultation de la Feuille de Télé-TP

- Réalisation du Télé-TP : quand l'apprenant veut commencer la réalisation du Télé-TP, l'interface apprenant affiche l'espace de travail. Le R_Workspace sera initialisé ; il demande au R_Capteur de commencer la capture de l'espace du travail et au R_Assistant de commencer à assister l'apprenant durant sa tâche d'apprentissage. A ce moment là, l'apprenant peut commencer la manipulation des objets virtuels pour réaliser le Télé-TP demandé. On distingue deux manières différentes de réalisation:
 1. Si l'apprenant désire réaliser le travail demandé de manière individuel, l'espace de travail lui affiche les objets virtuels pour qu'il puisse manipuler et réaliser son Télé-TP (voir figure 17).

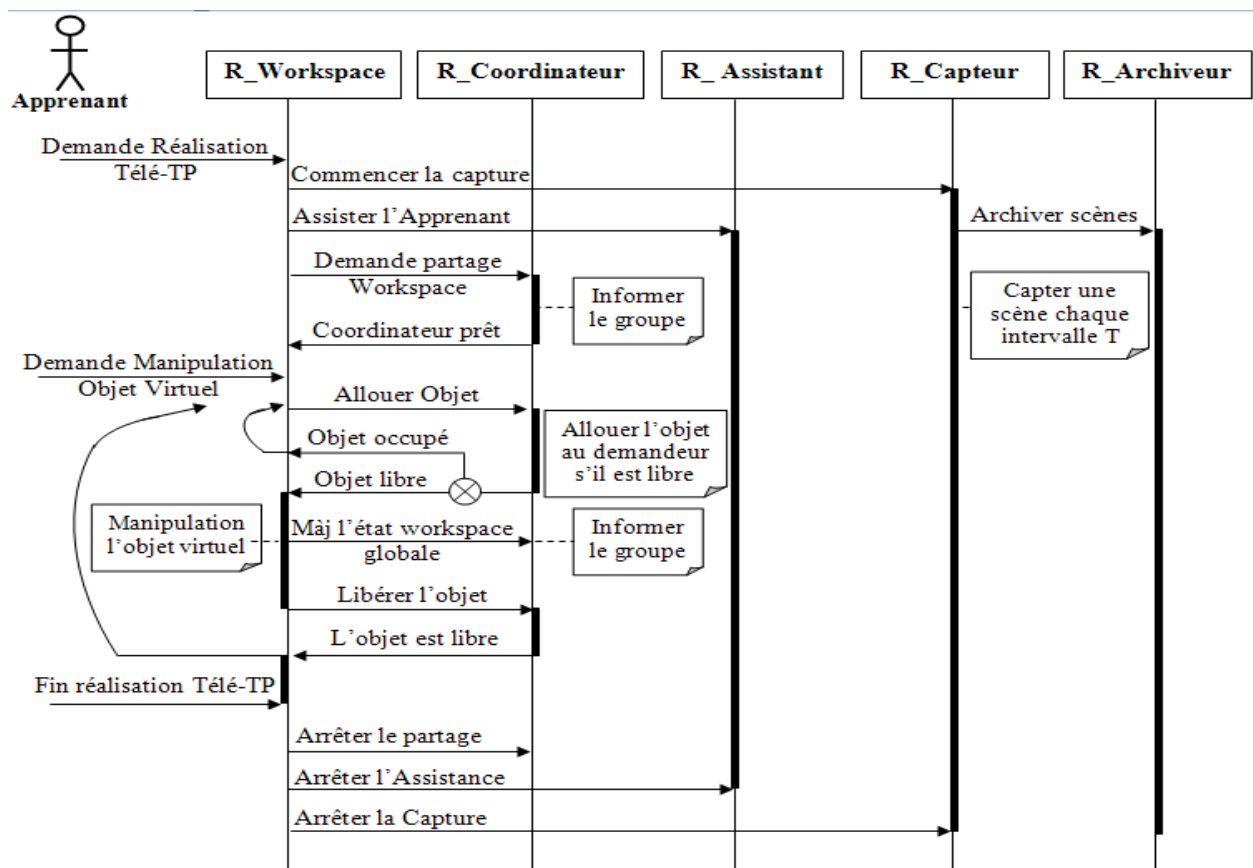
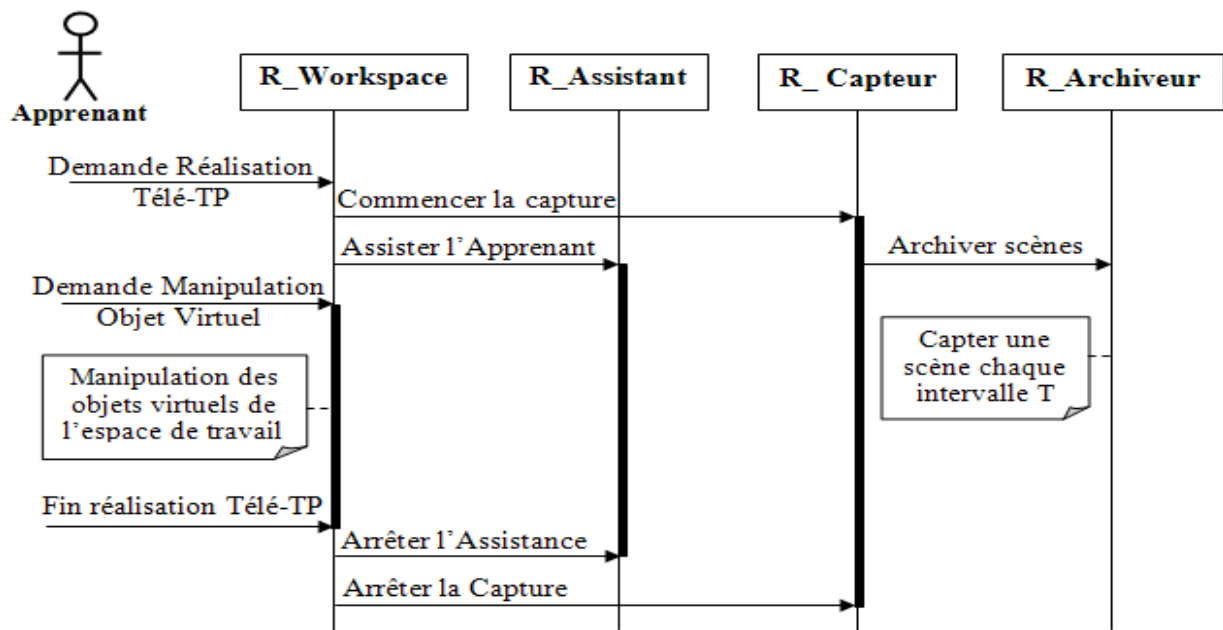
2. Dans le cas où l'apprenant veut réaliser son Télé-TP en collaboration (voir figure 18), le R_Workspace demande au R_Coordonateur de partager l'espace de travail avec les autres apprenants du même groupe. Ce dernier envoie l'état de l'espace de travail commun du groupe et lui indique qu'il est prêt.

Lorsque l'apprenant veut manipuler un objet virtuel, son R_Workspace demande au R_Coordonateur de l'allouer. Dans le cas où l'objet virtuel est occupé, le R_Workspace attend à ce qu'il soit libre ou demande un autre objet à manipuler. Dans le cas contraire ; si l'objet virtuel est libre, il sera alloué à l'apprenant qui l'a demandé.

Durant cette manipulation, le R_Workspace informe le R_Coordonateur des différents changements effectués sur l'état de l'objet (pour mettre à jour l'état global de l'espace de travail du groupe). Le R_Coordonateur informe les autres espaces de travail du groupe sur les changements de l'objet.

A la fin de la manipulation d'un objet, le R_Workspace libère l'objet virtuel et envoie un message vers le R_Coordonateur.

En parallèle à chaque intervalle de temps T , le R_Capteur prend des captures sur l'espace de travail de l'apprenant et les envoie au R_Archiveur pour stockage dans la base des données des scènes. A la fin de la réalisation de Télé-TP, le R_Workspace demande de libérer les agents concernés : R_Assistant et R_Capteur et informe le R_Coordonateur de la fin du partage.



- Sauvegarde du travail « Compte rendu »: lorsque l'apprenant rédige son compte rendu (rapport) et veut le sauvegarder, d'abord le R_Inter_App lui transmet sous forme d'un message au R_Archiveur pour le sauvegarder dans la BD. Le R_Archiveur renvoie un message au R_Inter_App pour confirmer que le rapport a été sauvegardé.

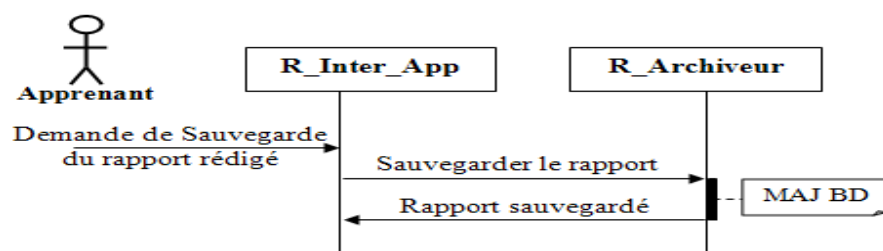


Figure 19. Enregistrement du compte rendu

(C) Système de supervision et contrôle

Lorsqu'un tuteur désire superviser les apprenants d'un groupe donné, il va y avoir deux types de supervision:

- Si le tuteur veut voir le déroulement d'un apprenant en temps réel (l'apprenant est entrain de faire son Télé-TP) pour l'assister ou prendre des décisions pour l'évaluation, le R_tuteur envoie un message de supervision en temps réel au R_Superviseur. Ce dernier envoie un message vers le R_Coordonateur pour localiser le R_Capteur de l'apprenant et lui demander de capter l'écran de son propriétaire. Le R_Capteur envoie la scène captée au R_tuteur qui sera affichée sur l'interface tuteur. Dans le cas où l'apprenant est hors ligne ou il n'a pas commencé la réalisation du Télé-TP, le R_Coordonateur envoie un message d'échec de capture vers R_tuteur du fait que le R_Capteur n'est pas en service.

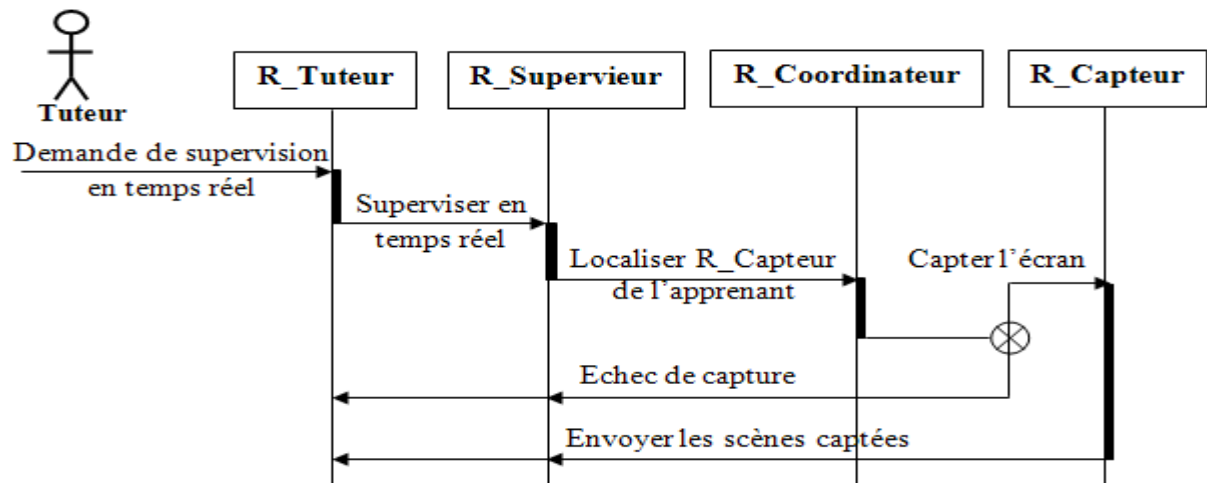


Figure 20. *Supervision en temps réel*

- Dans le cas contraire ; le tuteur désire voir l'historique d'un apprenant concernant la réalisation du Télé-TP, il sélectionne le Télé-TP réalisé par un apprenant donné. Ensuite, le R_tuteur envoie un message au R_Superviseur pour lui demander la supervision en temps différé, ce dernier établit un message au R_Archiveur en lui demandant la liste des scènes d'un Télé-TP donné réalisé par un apprenant. Le R_Archiveur extrait les scènes du Télé-TP réalisé par un apprenant donné et qui ont été captées par le R_Capteur automatiquement dans des intervalles de temps définis par le système. A la fin de cette opération les scènes sont envoyées au R_Tuteur pour qu'elles soient affichées sur l'interface tuteur.

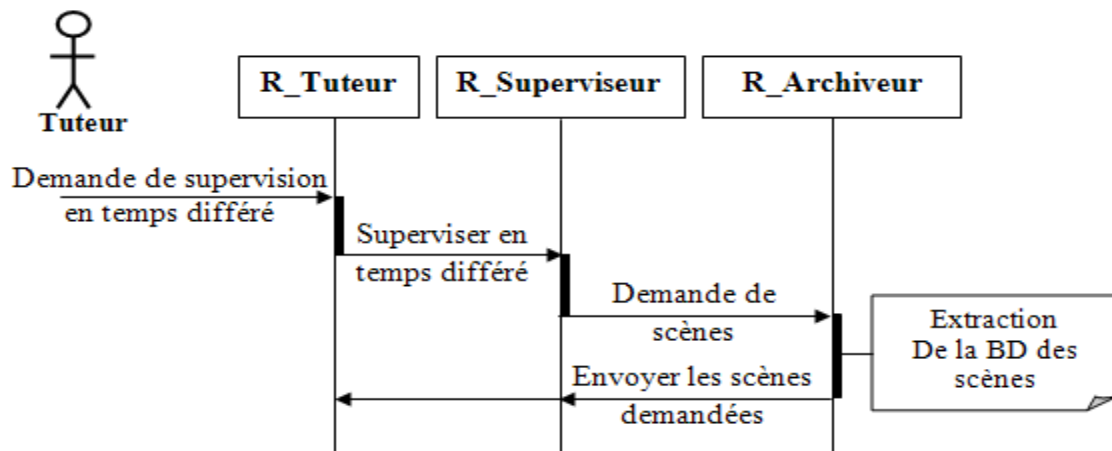


Figure 21. *Supervision en temps différé*

NB : la supervision en temps différé peut être invoquée par le R_Inter_Ens dans le cas où l'enseignant procède à une évaluation du travail effectué par l'apprenant et dont les scènes archivées servent comme une trace importante dans l'évaluation sommative.

3.2.1.4 Le diagramme de rôles et les tâches concurrentes

L'objectif de cette étape est de transformer le diagramme hiérarchisé des objectifs et les diagrammes de séquences issues des différents cas d'utilisation, en un diagramme de rôles (voir figure 22) associés aux tâches concurrentes. Les tâches sont des processus indépendants que le rôle doit exécuter pour remplir ses objectifs; elles s'exécutent de façon parallèle, c'est pourquoi l'on parle de tâches concurrentes.

Les interactions inter et intra-rôles sont matérialisées par des chemins de communication entre les tâches; Ces communications étant elles aussi supposées concourir à la réalisation des objectifs assignés à chaque rôle. Afin de s'assurer que tous les objectifs du système seront remplis, chacun des objectifs ou sous-objectifs du diagramme hiérarchisé des objectifs est assigné à un rôle particulier. La méthodologie MaSE indique que chaque objectif doit être assigné au moins à un rôle. Chaque tâche concurrente doit être spécifiée par un diagramme d'automate à états finis qui en fait décrit le comportement du rôle (auquel la tâche appartient) pendant la communication.

Les ovales liés à chaque rôle désignent les tâches que le rôle doit exécuter en vue de parvenir à ses fins. Les lignes entre nœuds représentent les protocoles d'interaction entre eux. Ces protocoles définissent une série de messages entre les tâches qui permettent de travailler en collaboration.

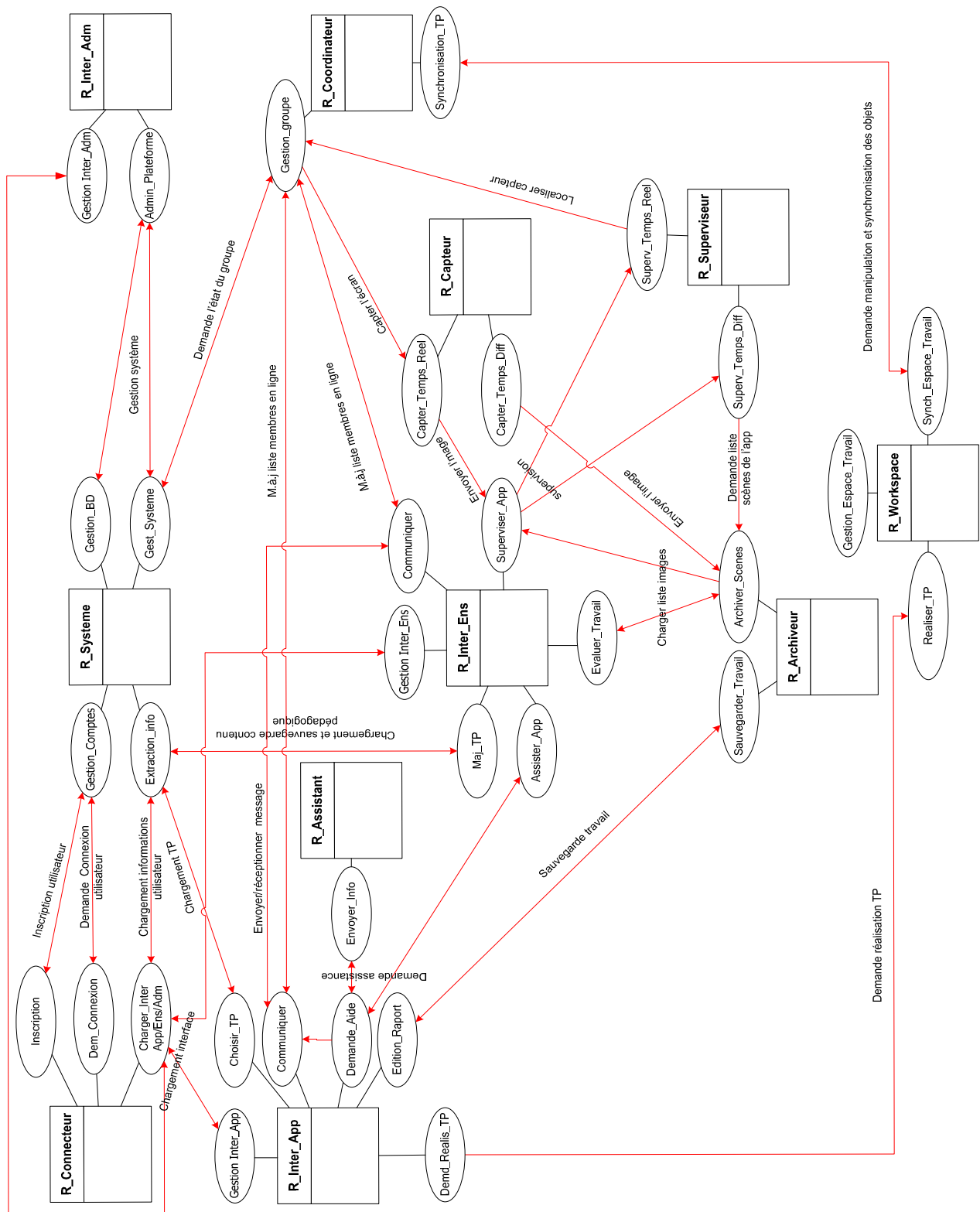


Figure 22. Diagramme de rôles de CVL@b

- La description des tâches concurrentes

La description des tâches concurrentes vient compléter la définition du diagramme des rôles et l'ensemble forme la troisième étape de la méthodologie MaSE. On va spécifier chacune des tâches concurrentes et les différents états et transitions des agents dans la réalisation d'une tâche, que l'on voit apparaître dans les ellipses du diagramme de rôles.

La conception du CVL@b offre un fonctionnement assez simple et répétitif des différents rôles. Nous illustrons dans le schéma qui suit en utilisant deux automates à état finis, le fonctionnement d'une demande de service formulée par les rôles émetteurs (R_Inter_App, R_Inter_Ens/R_Tuteur et R_Inter_Adm) et la manière dont le rôle R_Système l'exécute (ex : système d'enregistrement).

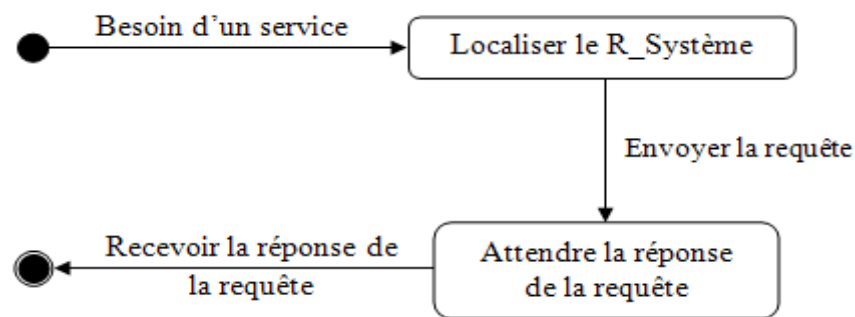


Figure 23. Diagramme états et transitions du R_Inter_App et R_Inter_Ens

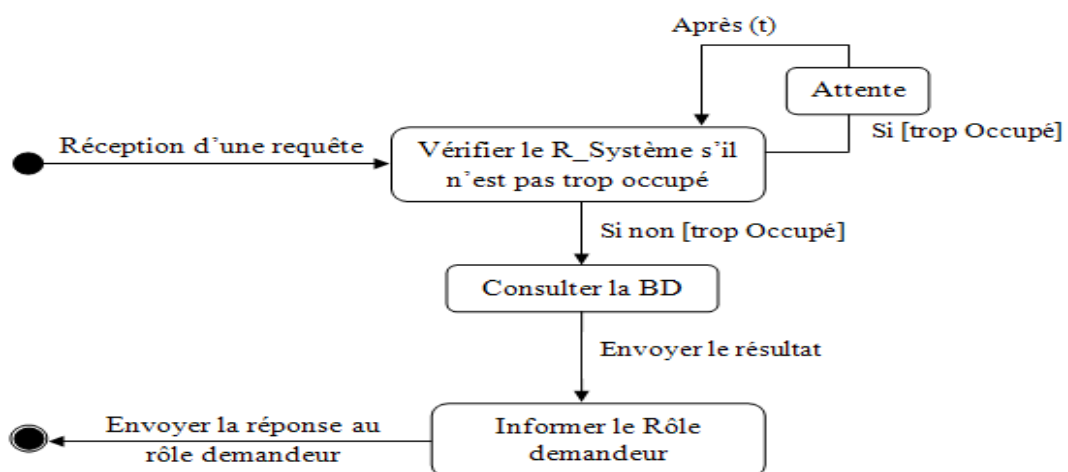


Figure 24. Diagramme états de transitions du R_Système

(A) Environnement des Télé-TP

- Consultation de la feuille de Télé-TP : Dans la suite, nous avons présenté les automates décrivant la manière de consultation d'un Télé-TP par l'émetteur R_Inter_App, extraction des informations du Télé-TP à partir de la base de données par le R_Système et renvoi du résultat au demandeur du service.

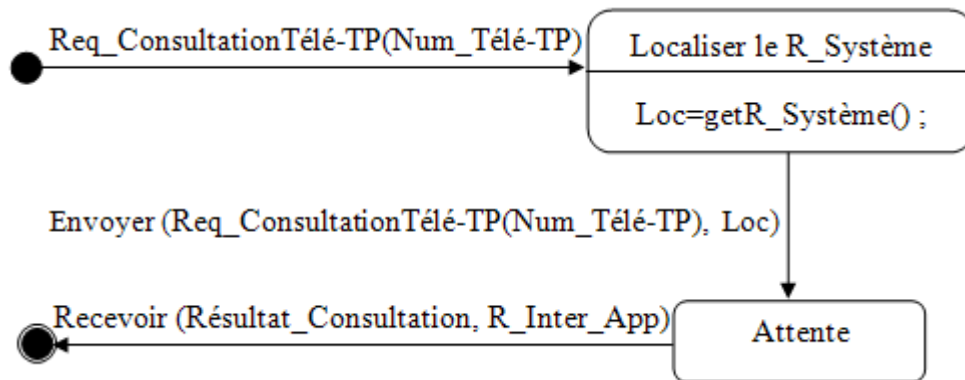


Figure 25. Diagramme états de transitions du R_Inter_App

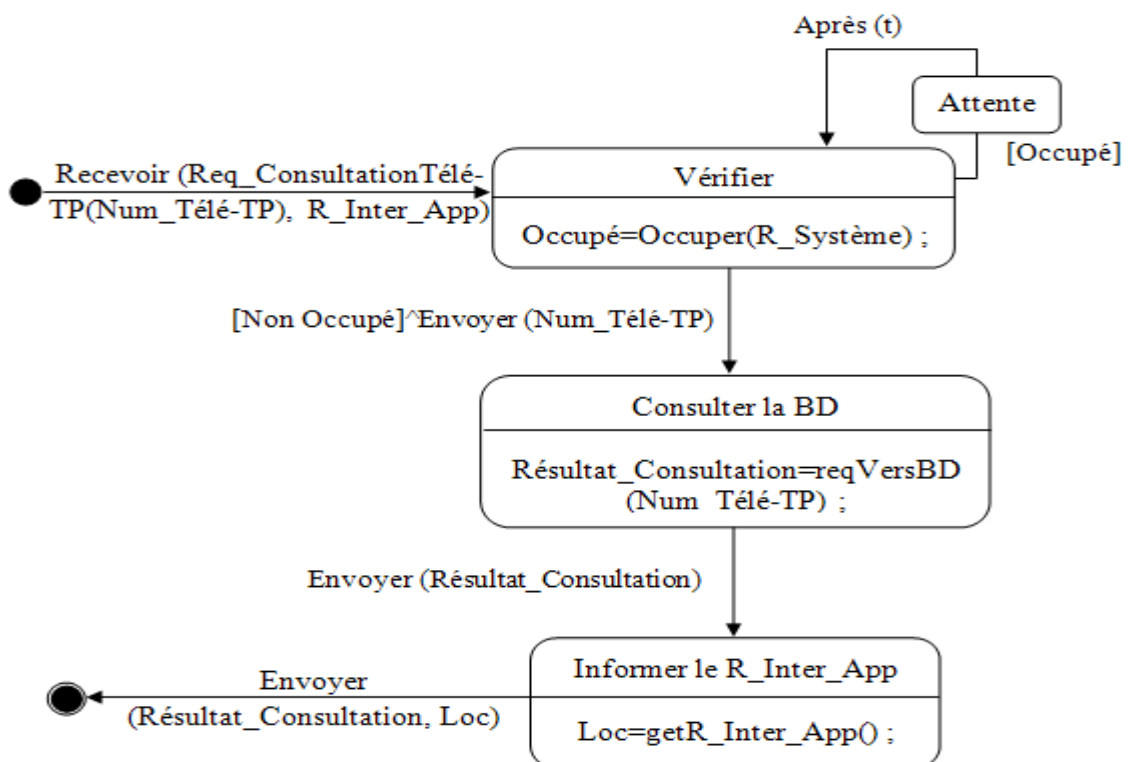


Figure 26. Diagramme états de transitions du R_Système

- Réalisation Télé-TP en groupe : quand l'agent Workspace reçoit une requête de manipulation d'un objet virtuel de la part de l'agent interface apprenant, il localise l'agent coordinateur du groupe où appartient cet apprenant demandeur. Après, il lui envoie un message d'allocation de l'objet virtuel désiré et attend sa réponse. L'agent coordinateur se base sur l'état de l'objet dans sa décision concernant la permission ou non d'allocation et ça par vérification dans la matrice des objets virtuels. Si l'objet est occupé, l'agent Workspace reçoit une réponse négative et passe à l'état final sinon ; c'est à dire si l'objet est libre ; l'agent coordinateur change son état afin de le verrouiller ; un message d'avis favorable est adressé à l'agent Workspace demandeur. Ce dernier permet à l'apprenant de manipuler cet objet sur son interface.

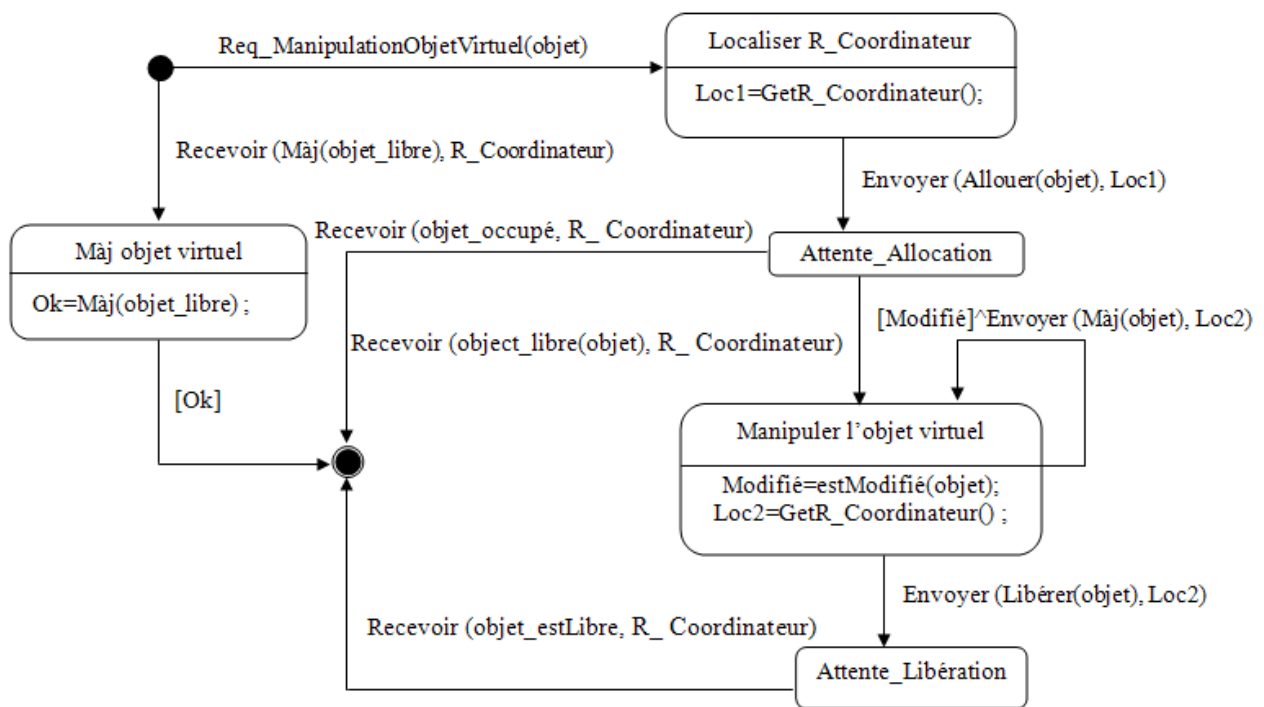


Figure 27. Diagramme états de transition du R_Workspace

Pendant la manipulation des objets virtuels, ils subissent des changements. Ces derniers sont envoyés par l'agent Workspace au coordinateur pour mettre à jour les états des objets virtuels manipulés dans la matrice d'allocation des ressources. De même, il

recupère la liste des Workspace des différents apprenants du même groupe et les diffuse la dernière mise-à-jour du Workspace. Les demandes de libération des objets virtuels seront transmises au coordinateur qui va les exécuter.

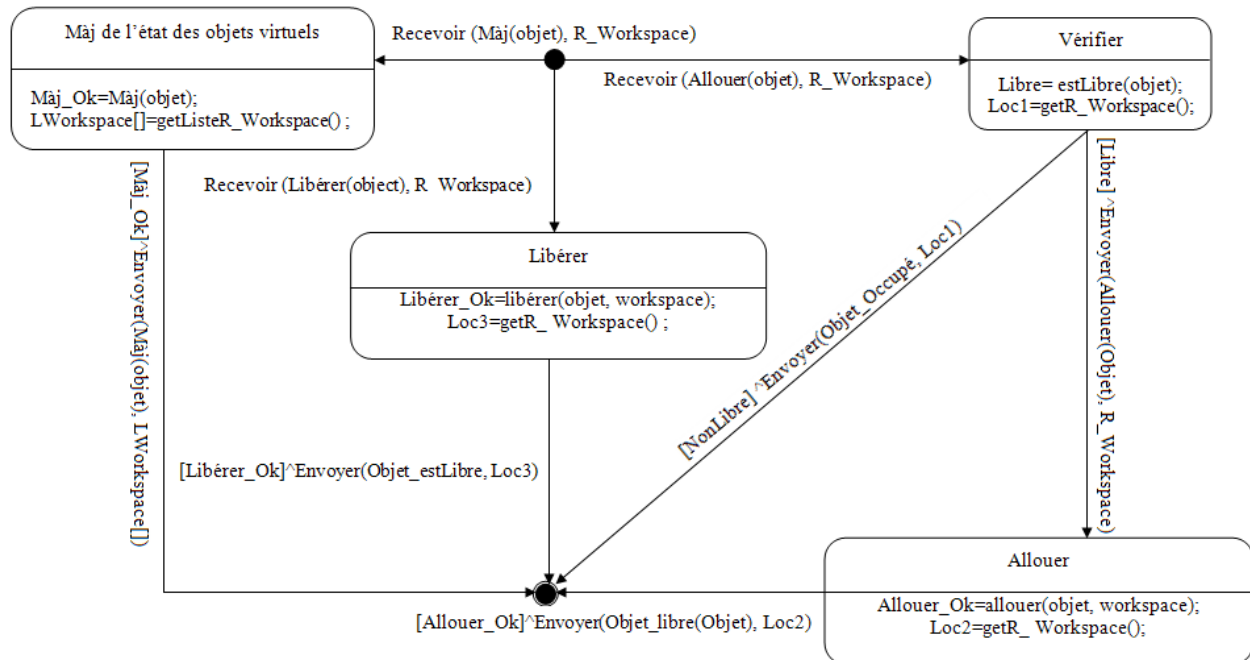


Figure 28. Diagramme états de transition du R_Coordonateur

(B) Système de supervision et contrôle

- Supervision en temps différé : quand l'agent Inter_Ens reçoit une requête de supervision différée d'un apprenant, il localise l'agent superviseur. Après, il lui envoie un message de supervision contenant l'identificateur de l'apprenant à superviser et attend sa réponse. L'agent superviseur à son tour s'adresse à l'agent Archiveur pour lui satisfaire la requête. Si l'apprenant a un historique, l'ensemble des traces sous forme de scènes est envoyé à l'enseignant. Sinon, l'enseignant sera informé par l'absence de réalisation des Télé-TP par cet apprenant.

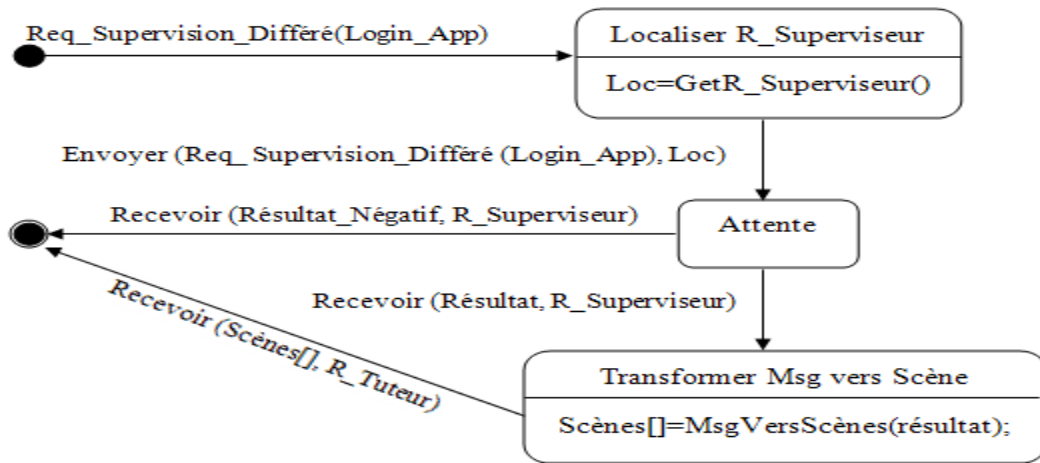


Figure 29. Diagramme états de transition du R_Tuteur

Quand une requête de supervision est transmise à l'agent A_archiveur, deux cas se présentent :

1. Si l'agent A_Archiveur est occupé par un autre élément du système, alors la requête est mis en attente jusqu'à sa libération.
2. Dans le cas contraire, il interroge la base de données des scènes afin de récupérer les scènes demandées puis il informe l'agent enseignant.

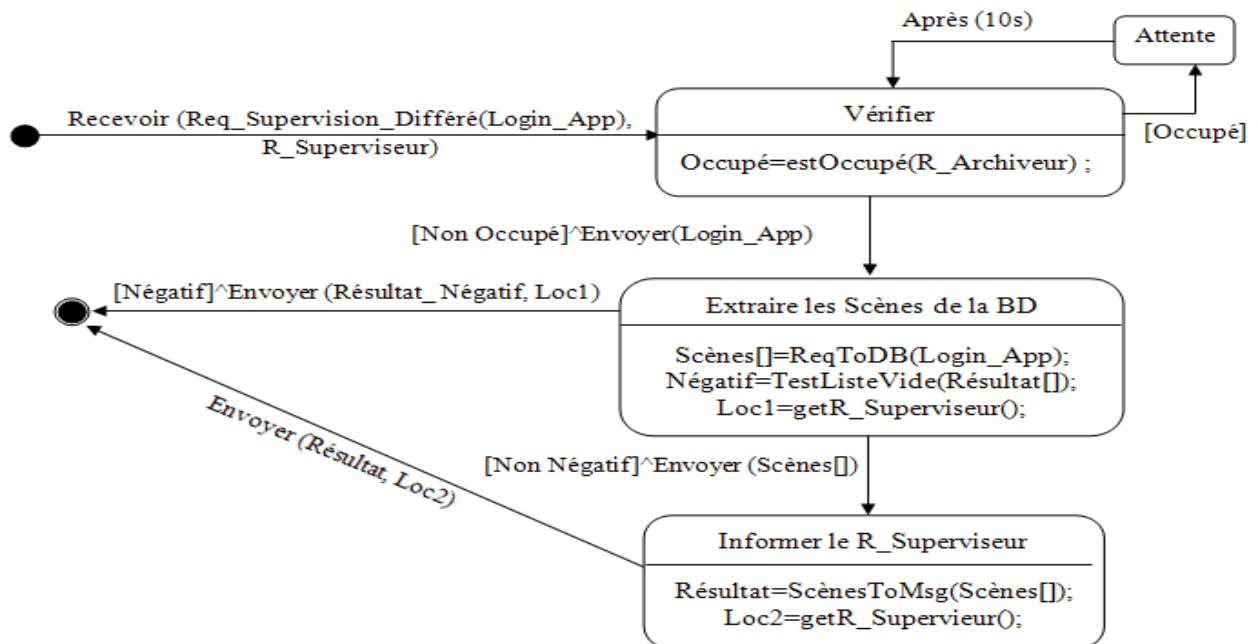


Figure 30. Diagramme états de transition du R_Archiveur

- Supervision en temps réel : quand l'agent A_Inter_Ens reçoit une demande de supervision en temps réel des apprenants, il la transmet à l'agent Superviseur. Ce dernier avec la collaboration de l'agent coordinateur, récupère les captures d'écran des apprenants connectés. Si aucun apprenant n'est en ligne, un message d'échec sera établi.

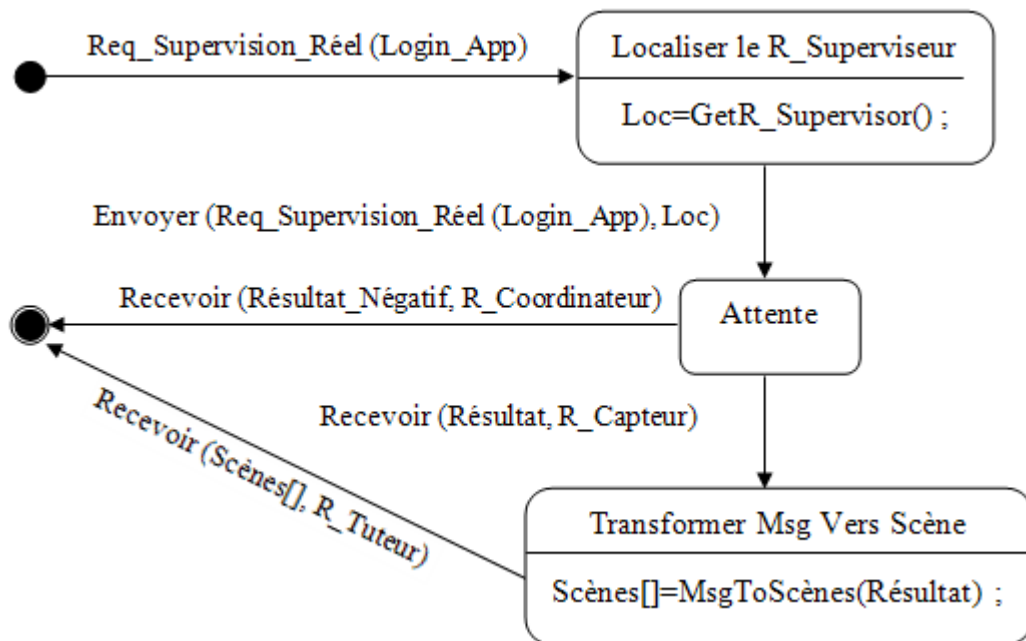


Figure 31. Diagramme états de transition du R_Tuteur

Après la réception d'une demande de supervision, l'agent coordinateur, vérifie que l'apprenant concerné est en ligne c'est-à-dire entrain de réaliser son Télé-TP, si c'est le cas, il localise l'agent capteur approprié de l'apprenant pour qu'il transmet les captures de son écran. Sinon (l'apprenant est déconnecté), la requête sera transmise à l'agent A_Archiveur.

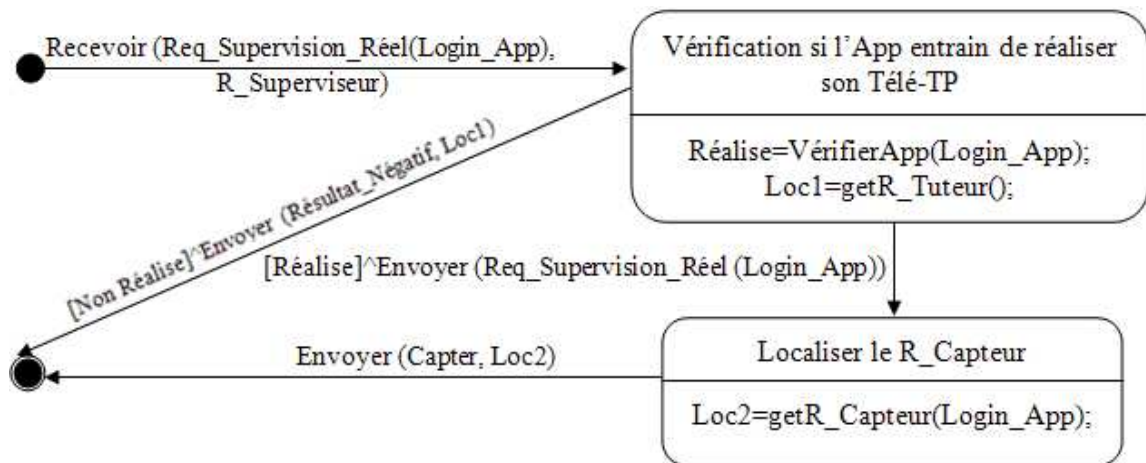


Figure 32. Diagramme états de transition *R_Coordonateur*

L'agent capteur est en service dès que l'apprenant procède à la réalisation de son Télé-TP. Il capte les écrans de l'apprenant en ligne et alimente la base des scènes. Cette opération est faite automatiquement à chaque intervalle de temps (2ms).

Lorsque l'agent capteur reçoit un message du coordinateur, il transforme les scènes en message pour communiquer avec l'agent enseignant qui affiche les scènes voulues sur son interface.

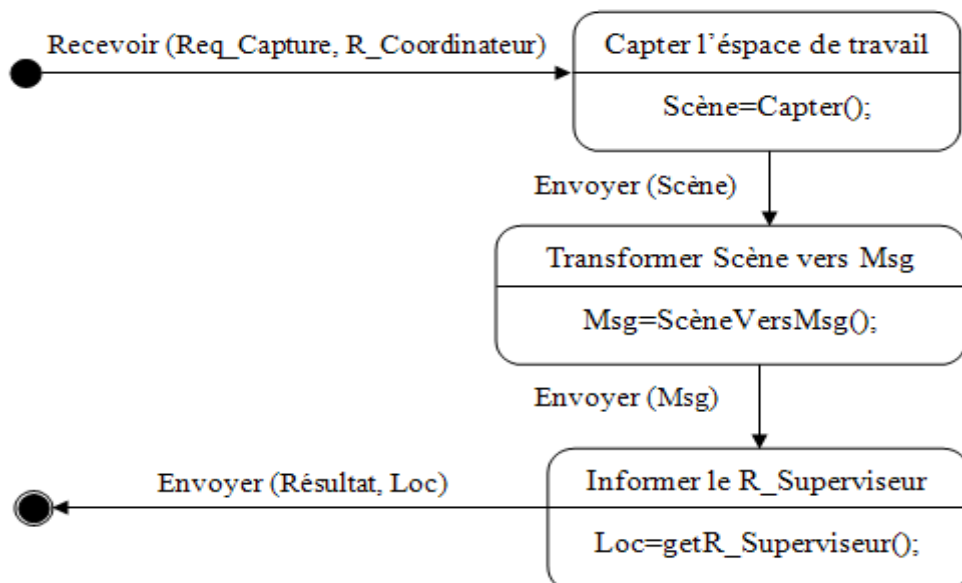


Figure 33. Diagramme états de transition du *R_Capteur*

3.2.2 La phase de conception

Le passage de la phase d'analyse vers la phase de conception se fait comme suit:

1. Les rôles que le concepteur choisit pour un agent déterminent les composantes de cet agent.
2. Les communications entre les tâches déterminent les conversations entre les agents.

3.2.2.1 Le diagramme de classes d'agent

Durant cette étape, les classes d'agents sont créées à partir des rôles définis à l'issue de la phase d'analyse. Ceci se fait de la manière suivante. L'agent sera représenté par une classe, on assigne chaque rôle au moins à une classe d'agents; Tous les chemins entre deux rôles deviennent des conversations entre leurs classes respectives.

La méthodologie recommande de noter dans chaque rectangle représentant une classe d'agents et les rôles qu'ils remplissent.

Dans CVL@b, nous avons onze classes d'agents (voir figure 34); chacun de ces agents exécute les tâches du rôle qui lui a été assigné:

- A_Connecteur (rempli par le rôle R_Connecteur).
- A_Coordonateur (rempli par le rôle R_Coordonateur).
- A_Inter_App (rempli par le rôle R_Inter_App): Cet agent est le responsable d'affichage de l'interface apprenant tels que : les informations personnelles de l'apprenant, le contenu pédagogique, charger leur espace de travail, et comporter l'outil de communication Chat.
- A_Inter_Ens (rempli par le rôle R_Inter_Ens et le R_Tuteur) : Cet agent est le responsable d'affichage de l'interface enseignant/tuteur. Il gère les outils de création du contenu pédagogique et la communication avec les groupes d'apprenants; Il collabore avec l'agent superviseur pour afficher le contenu des résultats de supervision (les images des scènes sur l'espace du travail d'un apprenant donné).

- A_Inter_Adm (rempli par le rôle R_Inter_Adm) : Cet agent est le responsable d'affichage de l'interface administrateur et y compris tous les outils d'administration du système.
- A_Système (rempli par le rôle R_Système) : encapsule l'ensemble des tâches concernant l'accès à la base de données.
- A_Assistant (rempli par le rôle R_Assistant) : encapsule les tâches d'assistance d'un acteur (apprenant/enseignant), aide l'apprenant dans la réalisation des TP et l'enseignant dans ses tâches.
- A_Capteur (rempli par le rôle R_Capteur) : capter les processus déroulés par l'utilisateur apprenant.
- A_Archiveur (rempli par le rôle R_Archiveur) : encapsule les tâches d'enregistrement (Scènes de travail/compte rendu rédigé).
- A_Workspace (rempli par le rôle R_Workspace) : créer un espace de travail et permettre sa manipulation quand l'apprenant veut réaliser un TP.
- A_Superviseur (rempli par le rôle R_Superviseur) : superviser les groupes d'apprenants qui réalisent les Télé-TP.

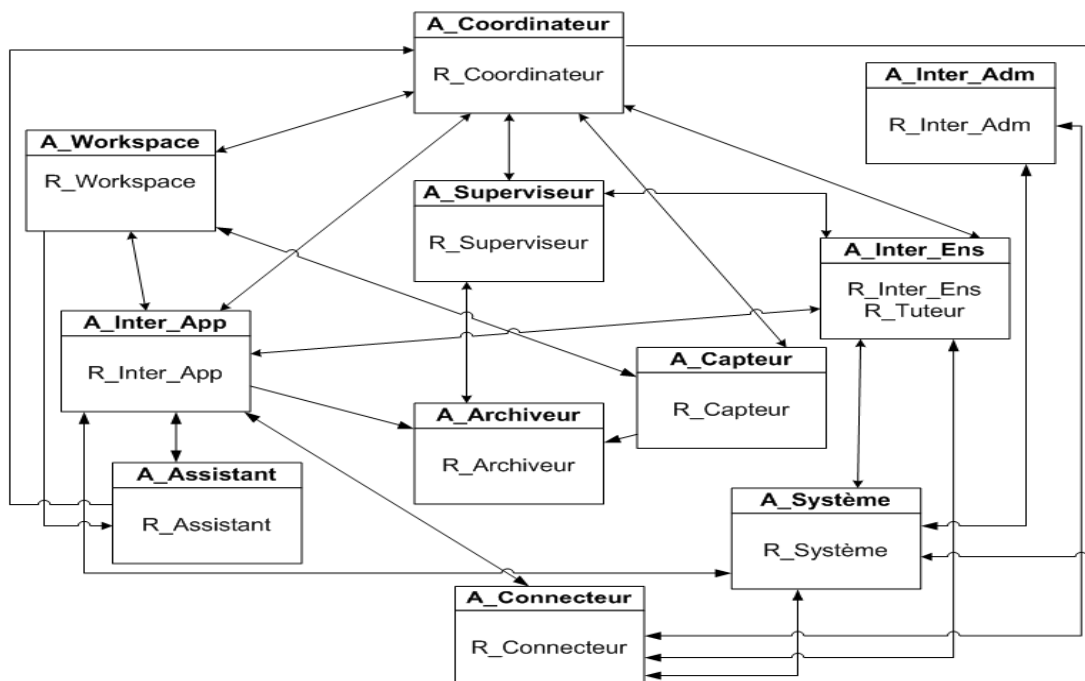


Figure 34. Diagramme de classes d'agent

3.2.2.2 La construction des communications inter-agents

Cette étape a pour but de construire le détail des interactions entre agents. Ces interactions sont spécifiées grâce à des diagrammes d'automates à états finis selon le même principe que la spécification des tâches concurrentes de la troisième étape (phase conception). Les communications inter-agents correspondent exactement aux communications entre rôles définies plus haut puisqu'on a affecté chaque rôle à un agent différent.

- Protocoles d'interaction : les cas d'utilisation identifiés au cours de la phase d'analyse font apparaître qu'il est nécessaire que des entités hétérogènes puissent communiquer ; par exemple, un agent Interface apprenant (A_Inter_App) entretient une relation avec l'agent système (A_Système) et interagit aussi avec un utilisateur humain via l'interface homme-machine.

Prenons par exemple le cas d'utilisation correspondant à la consultation des énoncés de Télé-TP. Son chronogramme est comme suit :

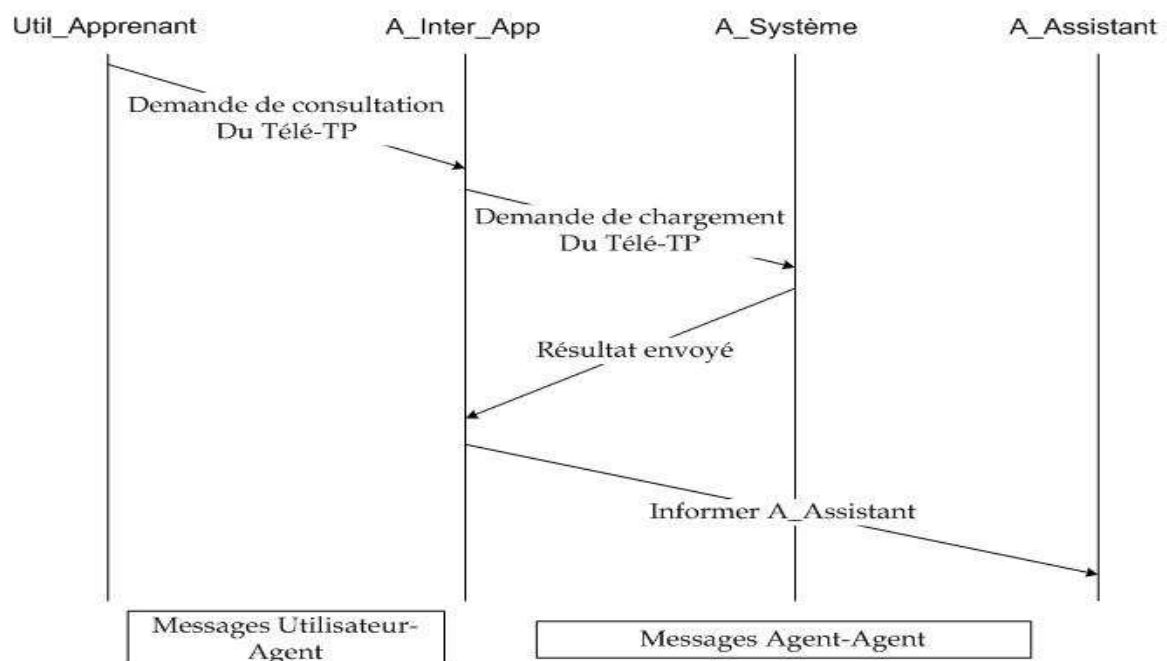


Figure 35. Chronogramme de consultation d'énoncé de Télé-TP

Cet exemple met en évidence que deux types d'interactions coexistent pour l'agent interface apprenant (A_Inter_App) : l'une avec l'utilisateur humain via l'IHM de l'apprenant et l'autre avec l'agent système (A_Système) et agent assistant (A_Assistant). A partir de cet exemple, examinons les interactions individuellement au niveau de chaque agent. Nous les représentons sous la forme d'un automate à états finis pour chacun des agents concernés. Les arcs représentent un envoie ou une réception de messages.

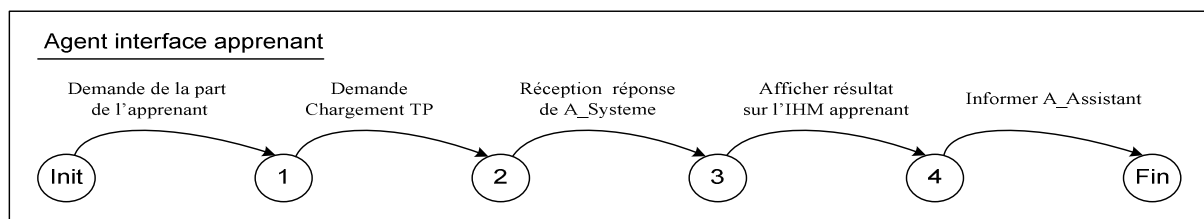


Figure 36. AEF d'interactions de l'A_inter_App

Dans ce cas, les passages de l'état initial « Init » à l'état « 1 » et de l'état « 3 » à l'état final « 4 » correspondent à un dialogue homme-machine ou entre l'interface graphique de l'apprenant et l'agent A_Inter_App. Les transitions de passage de l'état « 1 » à l'état « 2 », de l'état « 2 » à l'état « 3 » et de l'état « 4 » à l'état « Fin » sont des échanges ordonnés de messages inter-agents entre l'agent interface apprenant et l'agent A_Système.

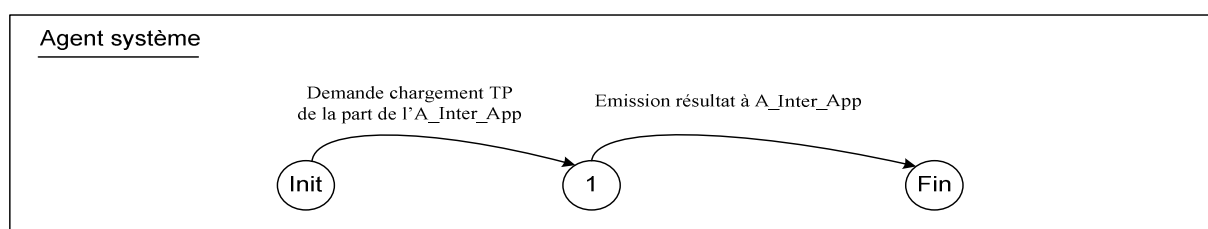


Figure 37. AEF d'interactions de l'A_Système

Nous devons donc considérer l'interaction suivant deux aspects : une approche voisine de la communication dans les systèmes distribués par l'intermédiaire de protocoles

d'interaction d'inter-agents et une approche qui s'apparente à la communication humaine dialogue humain-agent via l'interface graphique d'utilisateur.

3.2.2.3 Architecture d'agent

Nous essayons de construire un SMA spécifique pour satisfaire les besoins de notre application. Nous allons rechercher l'architecture d'agent qui s'adapte mieux aux types d'agents que nous avons prévus selon les tâches à accomplir.

Rappelons que, dans notre système, n'existeront que des agents communicant et qui ne possèdent pas de perception globale de tous les agents et ne contiennent pas d'une mémoire interne de son histoire, ni de but explicite, cela veut dire que le contexte des agents sera hétérogène et leur architecture interne est réactif.

- Agent interface apprenant: agent réactif temporaire qui reste actif pendant toute la séance d'interaction de l'apprenant avec le système. Cet agent possède une interface adaptative à l'utilisateur en lui offrant tous les outils nécessaires qui permettent à l'apprenant d'exploiter les services du système et qui assure aussi la communication et l'interaction entre l'apprenant et le SMA.

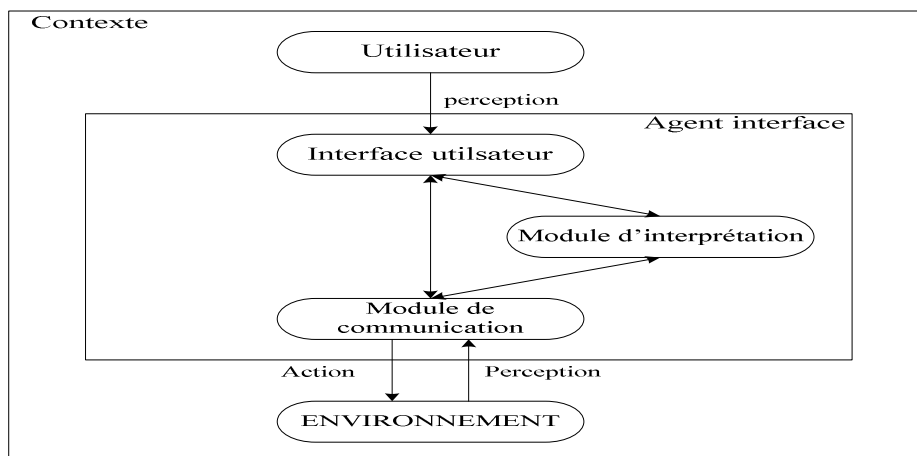


Figure 38. *L'architecture interne de l'agent interface apprenant*

- **Description**

- L'interface utilisateur: joue le rôle d'intermédiaire entre l'agent et leur environnement externe; elle gère tous les types d'interaction home-machine et offre à l'agent un outil de perception et action à tous les événements d'utilisateurs.
- Module d'interprétation de message : interprète cet appel (message) et le passe au module de communication.
- Module de communication avec les agents : via ce module, on assure la continuation de liaisons avec les agents.

La même architecture interne pour les deux autres agents interface de type Enseignant et Administrateur.

- **Agent Workspace:** agent réactif temporaire qui reste actif pendant l'interaction de l'apprenant avec l'activité de l'expérimentation qui lui est attachée à l'initiative de l'Agent interface apprenant et possède une interface où l'apprenant exécute ses activités et ses tâches de déroulement du Télé-TP.

Description : (même description que pour l'agent interface apprenant)

- **Agent Système:** c'est un agent actif en permanence responsable de la connaissance et de l'accueil des autres agents arrivant au serveur pour exécuter leurs tâches sur les bases de données du système.
- **Agent Coordinateur:** cet agent reste actif en permanence tant qu'il existe un apprenant connecté dans un groupe donné. Il est aussi responsable de la gestion des groupes et assure la synchronisation des ressources partageables dans le cas des Télé-TP collaboratifs et/ou coopératifs.

Les agents Capteur, Archiveur et Superviseur sont de type réactif (car ces agents répondent à la réaction des utilisateurs sur les différentes interfaces). Leur architecture interne est celle des autres agents.

3.2.2.4 Le diagramme de déploiement

La dernière étape de la méthodologie MaSE nous permet de définir l'architecture globale du système en utilisant des diagrammes de déploiement pour montrer le nombre, les types, et les endroits d'agents dans un système (voir Figure 40). Dans ce diagramme nous présentons la répartition de nos agents qu'on a affecté à chaque nœud et qui sont répartis sur un environnement distribué entre le serveur et les postes clients.

Dans le niveau serveur, on a deux agents qui restent en permanence durant le cycle de vie du serveur. L'agent A_Système et l'agent A_Archiveur qui communiquent avec un autre serveur de type base de données pour extraire et sauvegarder des données. Cette communication se fait à travers un protocole bien spécifique (ex : JDBC pour java); lors de connexion du premier membre d'un groupe donné, on crée un agent coordinateur pour chaque groupe qui reste actif jusqu'à la déconnexion de tous les membres du même groupe.

Dans le poste client, on trouve l'agent connecteur qui reste actif et qui est le responsable de la connexion avec le serveur et le lancement des autres agents du poste client selon le type d'utilisateur. Par exemple pour l'utilisateur apprenant, les agents Interface Apprenant, Capteur, Workspace et Assistant sont chargés et restent actifs durant la session de l'utilisateur apprenant.

Tous les liens entre les nœuds qui représentent des agents sont des communications basées sur les protocoles de communication inter-agents.

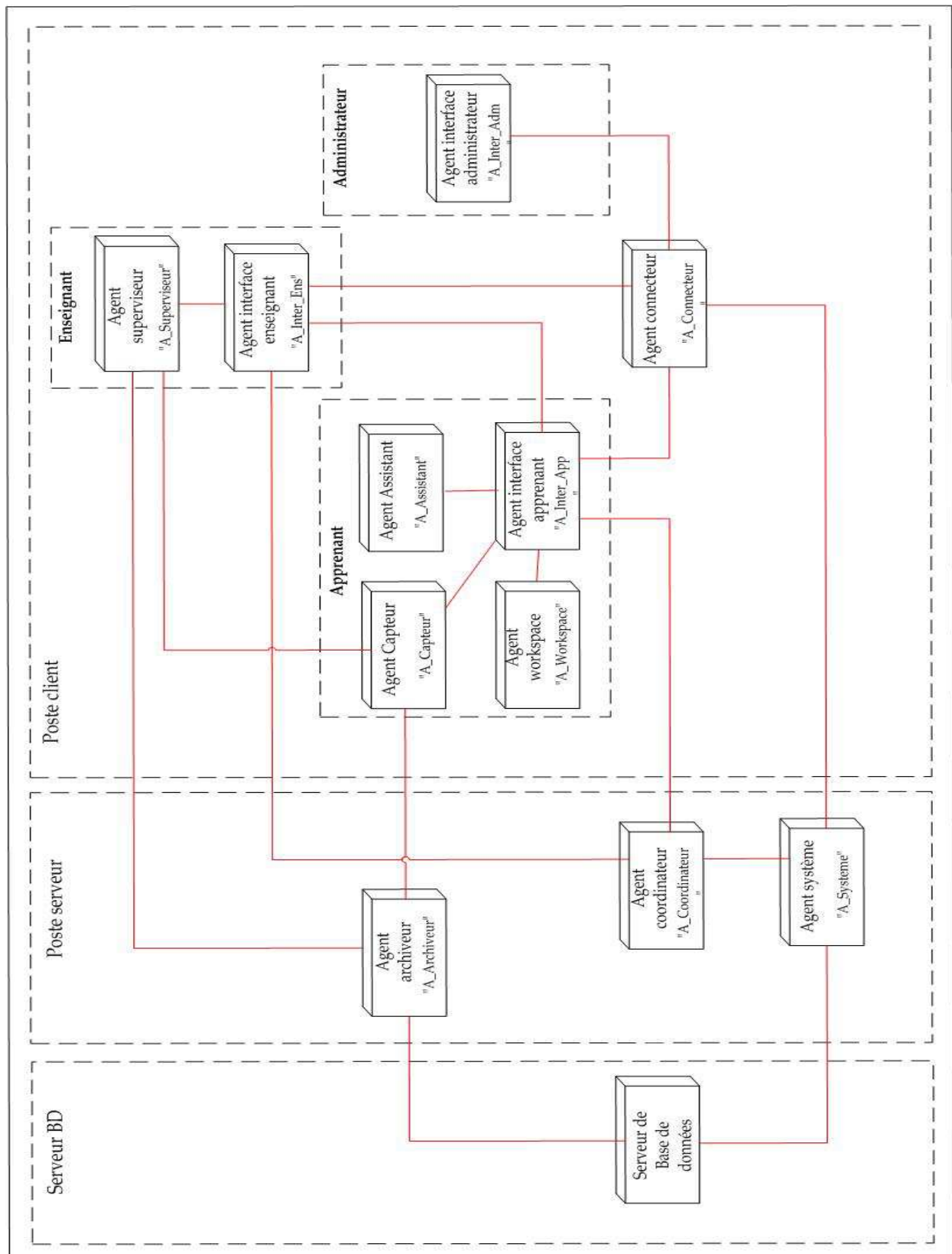


Figure 39. Le diagramme de déploiement

3.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la conception détaillée de CVL@b par l'application de la méthodologie agent MaSE avec l'identification de ces acteurs.

Tout d'abord, nous avons entamé la phase d'analyse qui consiste à l'identification des objectifs attendus du système, l'application des cas d'utilisation ; l'ensemble des fonctionnalités assurant les objectifs définis et l'affinement des rôles. Pour la conception des tâches concurrentes, nous avons eu recours aux automates à états finis.

La deuxième phase était celle de conception où nous avons procédé à créer la société d'agents auxquels nous avons affecté des rôles, construire les différentes interactions entre les membres de cette société et préciser leurs endroits dans le système afin de proposer une implémentation qui répond aux besoins de ces acteurs.

Chapitre 4 : CVL@b-LCMS (Système de gestion de contenus pédagogiques)

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous proposons deux modèles objets des documents pédagogiques dont l'un concerne les feuilles de Télé-TP (LCMS-PWS) et l'autre d'une bibliothèque électronique (LCMS-EL). Ces deux modèles sont conçus par le langage de modélisation UML.

4.2 LCMS-PWS

A l'ère du Web et du multimédia, la notion de document pédagogique devient difficile à identifier. En effet ces documents ne sont plus seulement textuels, plusieurs média (texte, image, son, vidéo ...) de base sont aujourd'hui utilisés (Djouidi, Behaz, 2004).

Le problème qui se pose ce n'est pas comment numériser la feuille de TP en effet les logiciels de numérisation sont disponibles mais plutôt la façon de structurer l'ensemble des informations formant le contenu tels que : textes, images, schémas, tableaux, graphes, etc. pour une ultérieure exploitation.

4.2.1 Modèle empirique d'une feuille de Télé-TP

Afin que notre système de gestion des feuilles de Télé-TP soit efficace et répond aux exigences des enseignants constructeurs de contenu pédagogique, deux éléments (données/traitements) sont pris en considération.

Côté données, une étude approfondie sur les différentes feuilles de TP est établie par les enseignants constructeurs du contenu pédagogique des différentes disciplines ; nous avons pu concevoir un modèle prototype d'une feuille de Télé-TP générique (figure 40).

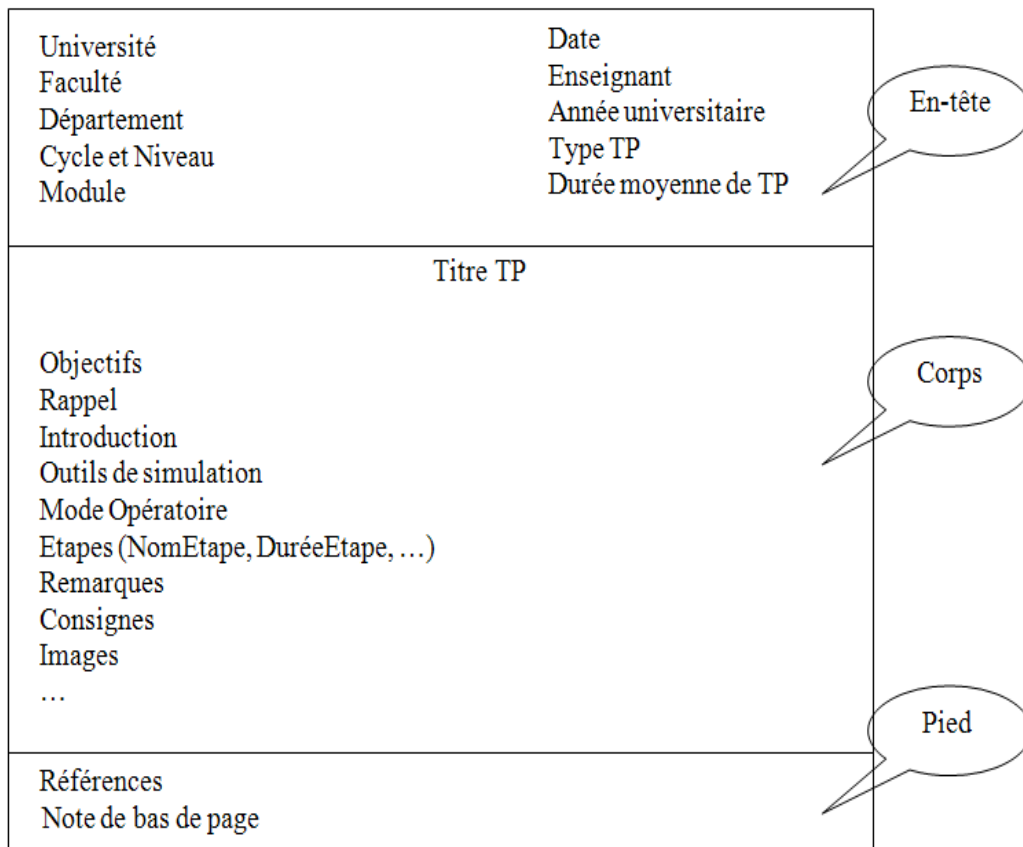


Figure 40. *Modèle empirique d'une feuille de Télé-TP*

Le modèle conçu est composé de trois parties : Entête, Corps et Pied. La description de chaque partie sera discutée dans les sections suivantes.

4.2.2 Conception de la feuille de Télé-TP

4.2.2.1 Diagramme de cas d'utilisation

Notre système comprend deux acteurs (enseignants, apprenants). La relation entre ces acteurs et l'ensemble des fonctionnalités est présentée par le diagramme de cas

d'utilisation (Figure 41). L'enseignant peut ajouter un Télé-TP, le modifier ou même le supprimer tandis que l'apprenant qui est au centre du processus d'apprentissage s'intéresse à la consultation de la feuille de Télé-TP pour appliquer et compléter les acquis théoriques.

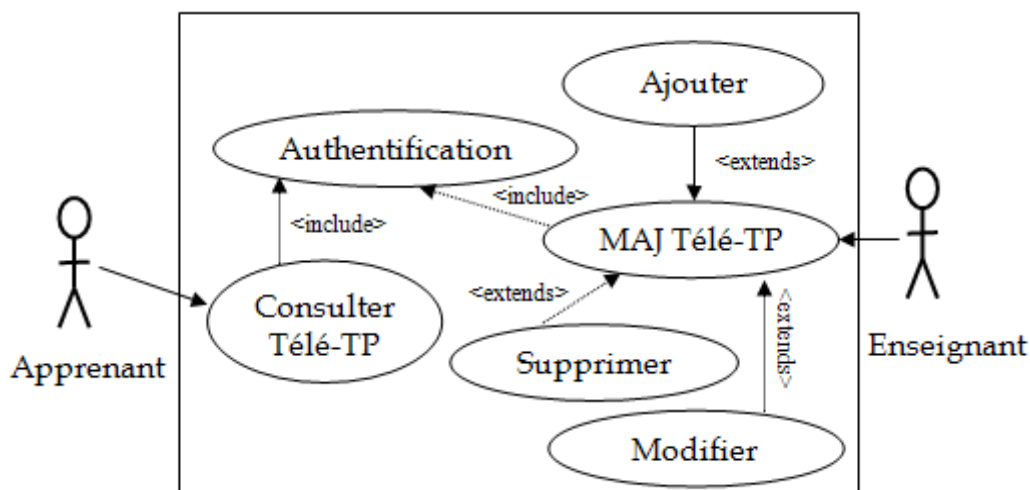


Figure 41. Diagramme de cas d'utilisation

4.2.2.2 Diagramme de séquences

L'aspect dynamique du système est illustré par les diagrammes de séquences. Ils montrent les interactions qui surviennent dans une séquence de temps. En particulier ils montrent la participation d'objets dans les interactions et les messages qu'ils échangent dans un intervalle de temps. Les figures (figure 42, figure 43, figure 4) représentent respectivement les diagrammes de séquence des scénarii d'ajout, suppression et consultation d'une feuille de Télé-TP par un enseignant/apprenant.

- a) Le scénario d'ajout d'un Télé-TP : lorsqu'un enseignant veut ajouter une feuille de Télé-TP, en premier lieu il va choisir le module, le chapitre concerné et le cours. Après, il procède à l'ajout de l'entête de la feuille de Télé-TP. L'ajout du corps de la feuille de Télé-TP fait appel à l'ajout du texte, images et des fois du son. L'ajout du pied de la feuille de Télé-TP implique l'ajout des informations sur les différentes références bibliographiques utilisées.

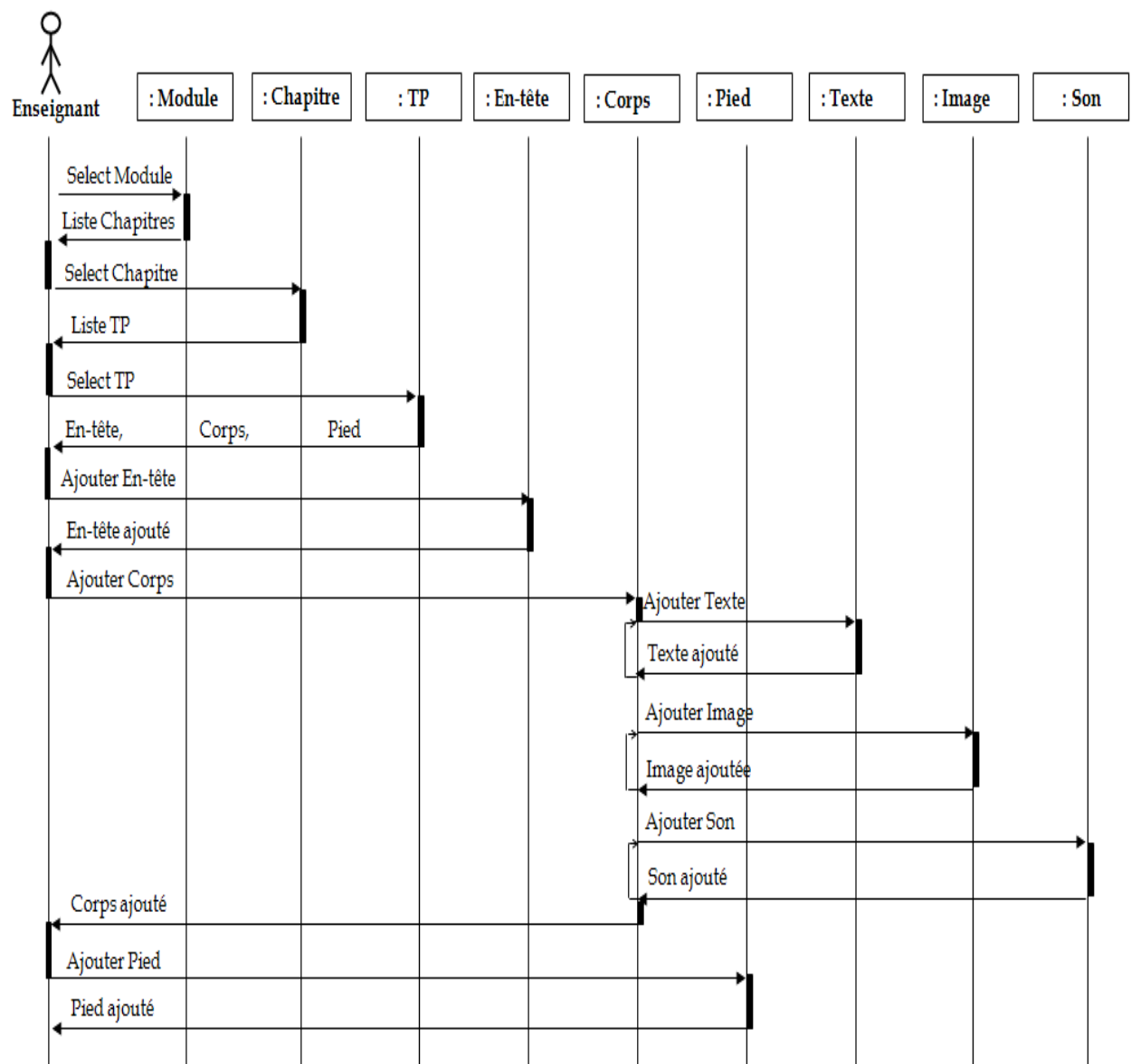


Figure 42. *Ajouter un Télé-TP*

- b) Le processus de suppression se fait sans l'intervention des classes Entête, Corps et Pied.

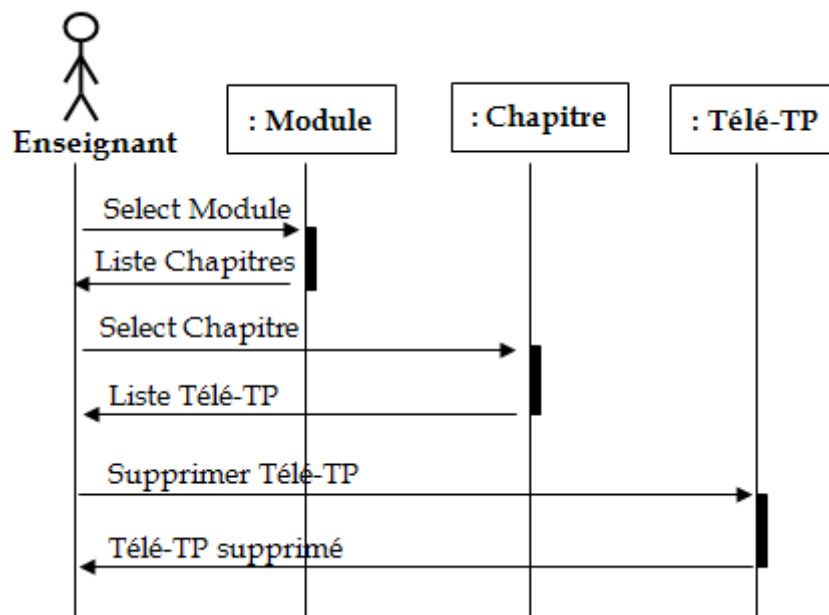


Figure 43. *Supprimer un Télé-TP*

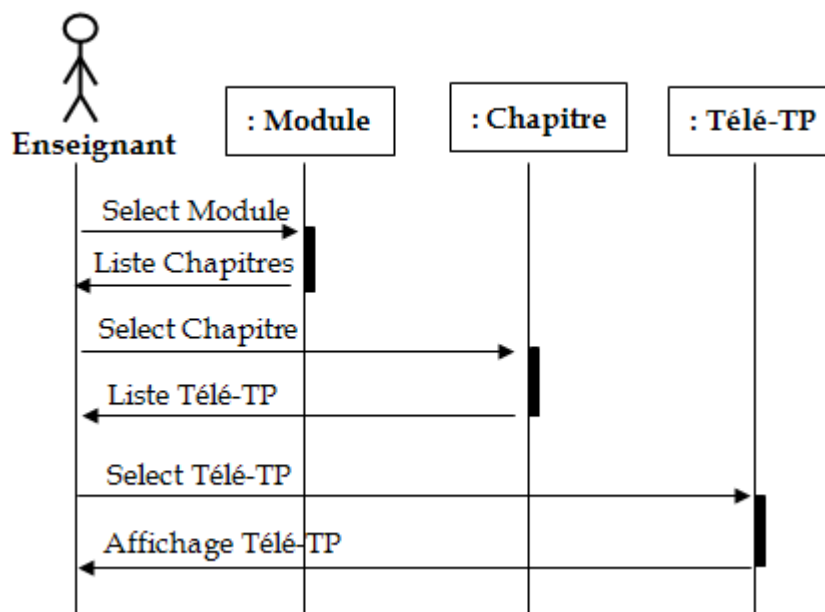


Figure 44. *Consulter un Télé-TP*

4.2.2.3 Diagramme de classes

Le diagramme de classe exprime de manière générale la structure statique d'un système en termes de classes et de relations entre ces classes (Harous, Mechta, Djoudi, 2006).

Une feuille de Télé-TP est composée des parties suivantes : Entête, Corps et Pied comme le montre la figure 45.

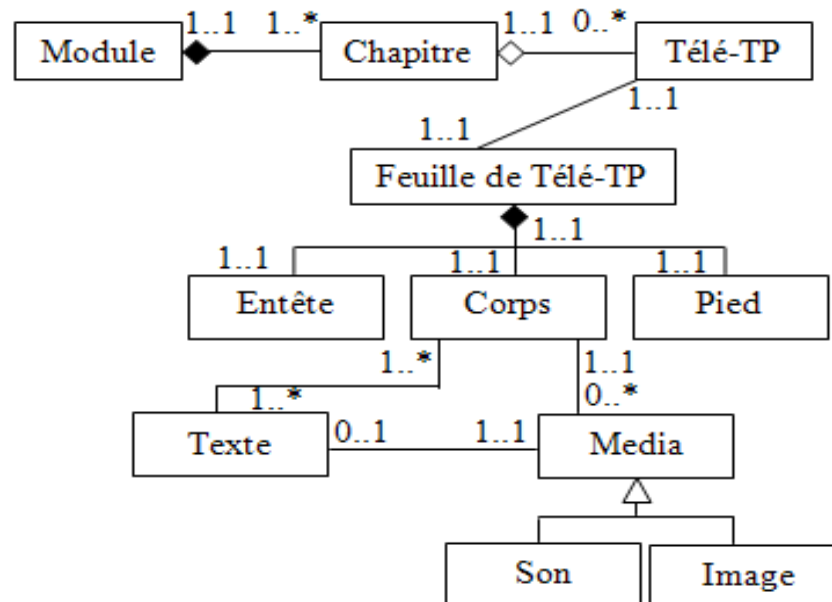


Figure 45. Diagramme de classes

La classe Entête contient des informations descriptives de la feuille de Télé-TP telles que le nom de l'université, faculté, département, cycle et niveau, date, période de mise sur le réseau, module, chapitre, année universitaire et même les coordonnées de l'enseignant qui assure le module.

La classe Corps est composée d'une partie textuelle et/ou un ensemble d'objets multimédias (son, image, vidéo, etc.) stockés sous forme de fichiers texte, vidéo, image, etc., qui peuvent intervenir dans différentes activités. Elle contient des informations sur le contenu du Télé-TP. Il existe des informations qui sont obligatoires comme le numéro du Télé-TP, son intitulé et ses objectifs tandis que la présence des attributs suivants : rappel du cours, objectifs attendu du Télé-TP, introduction, mode opératoire ou bien les étapes de la manipulation, remarques, outils de simulations à exploiter durant le travail expérimental, ...etc. dépend des facteurs suivants :

- Le type de l'expérimentation : des fois on trouve des expérimentations qui ne nécessitent pas d'outils de simulations.
- La discipline : on trouve par exemple chez les chimistes le mot « mode opératoire » tandis que les physiciens utilisent plutôt l'attribut « Manipulation ».
- Etc.

Aussi, chaque attribut cité auparavant, peut contenir ou non des images ou du son selon la nécessité.

La classe Pied contient l'ensemble des références bibliographiques ainsi les notes de bas de pages utilisées pour mettre en place l'énoncé du Télé-TP.

4.2.3 Format interne d'une feuille de Télé-TP

Le format interne de la feuille de Télé-TP est pris en considération dans notre travail et XML est opté pour ça pour plusieurs raisons. En effet à partir d'un document XML, l'apprenant a la possibilité d'afficher la feuille de Télé-TP sous plusieurs formats tels un document Word, Pdf ou même une présentation PowerPoint. En plus, le gain du temps ; on peut avoir des feuilles de Télé-TP différentes mais qui ont été réalisées par le même enseignant destinées aux même apprenants alors dans ce cas l'enseignant ne réécrit pas son nom, l'université et toutes les autres informations communes dans les deux modules.

A tous ces avantages liés à l'utilisation du standard XML s'ajoute la faiblesse des coûts de production et de stockage relative et aussi l'existence de nombreuses possibilités pour mieux gérer les documents sous formats standards (Behaz, Merzougui, Djoudi, 2005). Par ailleurs, l'existence de formats de fichiers standards permet d'envisager la conservation de toutes données sans risques d'incompatibilités futures.

4.2.3.1 DTD : Définition de Type de Document

Une DTD permet de définir de façon formelle la structure de référence d'un document, des formulaires administratifs, des transactions commerciales ou financières indépendamment de leur contenu. C'est un ensemble de règles de structuration qui précise ce qui est autorisé ou non dans un document (Meyer, 1990). La figure 46 montre un exemple de DTD associée à notre feuille de Télé-TP.

```
1  <!ELEMENT FeuilleTP (entete, corps, pied)>
2  <!ELEMENT entete (nom_universite, faculte, departement, niveau, cycle, module,
enseignant, date, date_mise_reseau)>
3  <!ELEMENT corps (num_TP, titre_TP, introduction, ....)>
4  <!ELEMENT pied (bibliographie)>
5  <!ELEMENT nom_universite (#PCDATA)>
6  <!ELEMENT faculte (#PCDATA)>
...

```

Figure 46. Exemple d'une DTD

4.3 LCMS-EL (Electronic Library)

Le travail présenté dans cette section propose un modèle d'architecture basé sur une approche orientée objet permettant l'implantation d'une bibliothèque électronique pour une meilleure exploitation. Grâce au langage de modélisation UML utilisé pour la conception du modèle, la modélisation de la bibliothèque électronique est décrite par les différents diagrammes : diagramme de cas d'utilisation permet de structurer les besoins des utilisateurs et les objectifs correspondants au système; le diagramme de classe est une collection d'éléments de modélisation statiques (classes, paquetages,...), qui montre la structure d'un modèle. Le diagramme de séquence qui montre les interactions entre les objets dans le système et le diagramme de composant permettant

de décrire l'architecture physique et statique d'une application en termes de modules : fichiers sources, bibliothèques, exécutables, etc. Cette structure modulaire autorise la conception hiérarchique des documents scientifiques et offre une place plus importante au problème de stockage des documents scientifiques dans une base d'objets afin de mieux l'exploiter.

4.3.1 La maîtrise de l'information

La maîtrise de l'information est la maîtrise des processus intellectuels et opérationnels qui permettent à un individu de satisfaire ses besoins d'information dans les diverses situations qu'il rencontre.

Les situations rencontrées peuvent être multiples : situation d'apprentissage de savoirs fondamentaux ou techniques, situation de production d'écrit (rédaction d'une synthèse, d'un rapport, d'un projet d'étude,...), situation de résolution de problème (recherche d'un renseignement factuel, d'une solution technique, etc.). Les situations étant variables à l'infini, les besoins d'informations le sont également. Néanmoins, diverses études ont permis d'établir une typologie des besoins des utilisateurs. Enfin, la maîtrise de l'information renvoie à l'idée de la maîtrise de processus.

Pour bien définir un processus informationnel, nous rappelons les quatre phases essentielles qui le constituent :

- L'analyse (analyse du besoin d'information, description de ce besoin, représentation du but à atteindre) ;
- La recherche de l'information (repérage et collecte de documents, d'avis, de renseignements) au travers de sources d'informations multiples (bases de données, catalogues, experts, etc.) et en utilisant tous les outils appropriés (interface d'interrogation, documentation secondaire, annuaires, etc.) ;

- le traitement de l'information (lecture, analyse, déchiffrement des documents, des témoignages, analyse de leur pertinence et de leur validité, prises de notes, extraction des informations utiles, sélection, tri, hiérarchisation des informations, etc.) ;
- l'exploitation de l'information (acquisition de nouvelles connaissances, production de synthèses, de rapports, de notes bibliographiques, d'exposés oraux, discussion et confrontation avec les pairs,...).

Un outil de gestion d'une bibliothèque électronique peut être utilisé afin d'enregistrer, modifier, supprimer ou imprimer toutes les références des documents. Un espace pour l'écriture des commentaires sur les documents ou simplement pour la prise de notes est mis en place pour chaque référence créée (Deshouillères, Djoudi, 2005).

4.3.2 La modélisation objet d'une bibliothèque électronique

Nous visons la modélisation objet d'une bibliothèque électronique ainsi l'implantation de ce modèle afin d'améliorer le processus d'apprentissage au moyen de la consultation des cours, des livres, des thèses, de même les notes de cours électronique (NCE) qui constituent un document d'accompagnement indissociable du cours.

4.3.2.1 Diagramme de cas d'utilisation

Dans notre système, on trouve deux acteurs principaux : l'administrateur et le lecteur (apprenant ou enseignant). Chaque acteur a ses propres tâches à accomplir selon les droits d'accès détenus dans la bibliothèque électronique comme l'illustre la figure ci-dessous (voir figure 47).

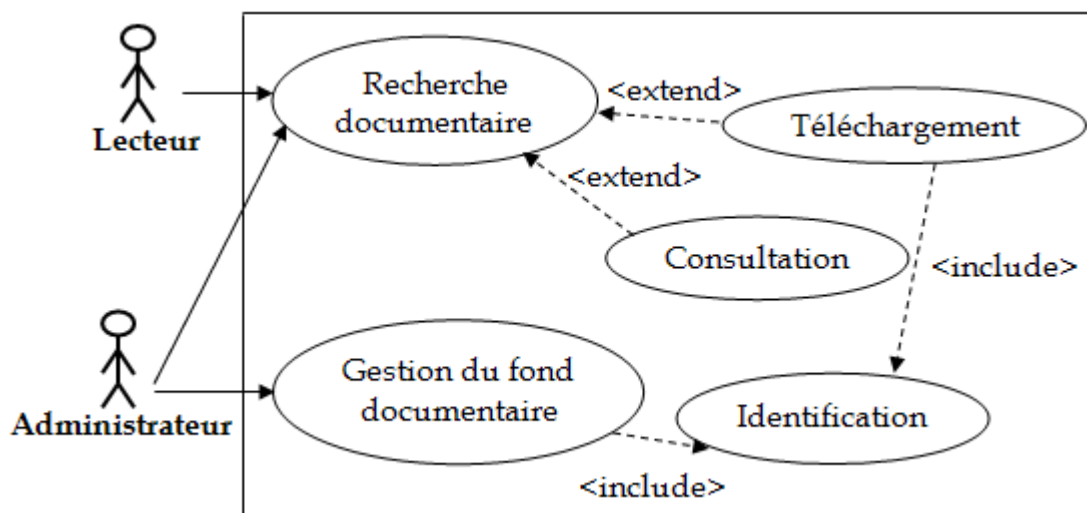


Figure 47. *Diagramme de cas d'utilisation*

La gestion du fond documentaire qui est résumée autour des points suivants : l'ajout d'un document, la suppression d'un document et la modification d'un document, est faite par l'administrateur tandis que le lecteur n'a que les opérations suivantes à assurer :

1. Recherche d'un document selon des critères bien précis : Recherche par thème, Recherche par auteur, Recherche par année de présentation, Recherche par mots clés et Recherche par encadreur (pour les thèses).
2. La consultation des documents recherchés.
3. Téléchargement d'un document qui nécessite l'identification du lecteur.

4.3.2.2 Diagramme de classes

Le diagramme de classe (voir figure 48) exprime de manière générale la structure statique d'un système en termes de classes et de relations entre ces classes.

Dans notre cas, il existe trois classes principales : une pour l'auteur, une pour le lecteur et une superclasse document qui possède des sous-classes qui sont : Livre, Thèse, Article et Cours.

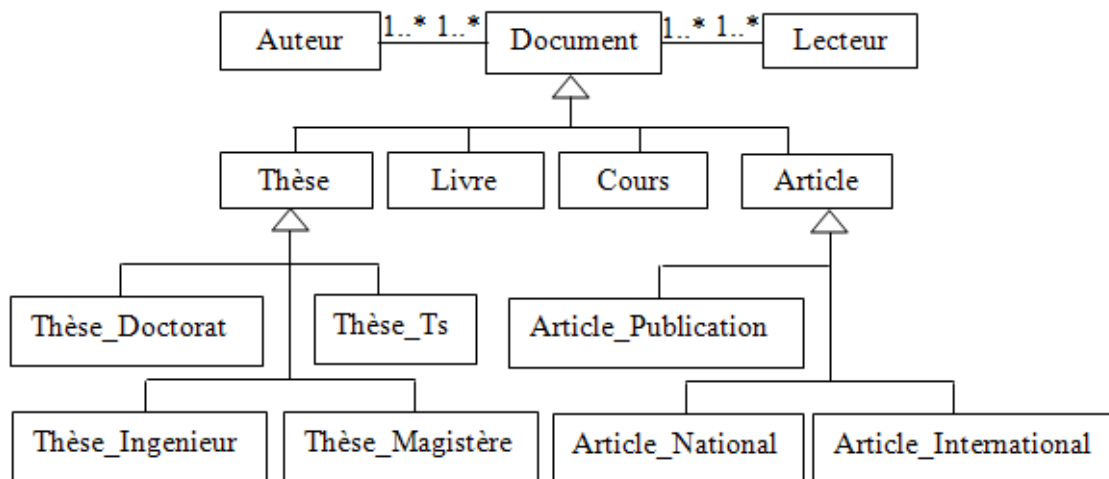


Figure 48. *Diagramme de classes*

4.3.2.3 Diagramme de séquence

Pour mieux comprendre l'aspect dynamique de l'application, le diagramme de séquence se voit primordial. Ce dernier est un moyen graphique représentant les différentes interactions entre les objets de la bibliothèque électronique dans le temps.

(A) Diagramme de recherche, consultation et téléchargement d'un document

Pour le cas d'utilisation « rechercher document », le scénario qui illustre la façon d'y procéder pour chercher un document est représenté par la figure ci-dessous.

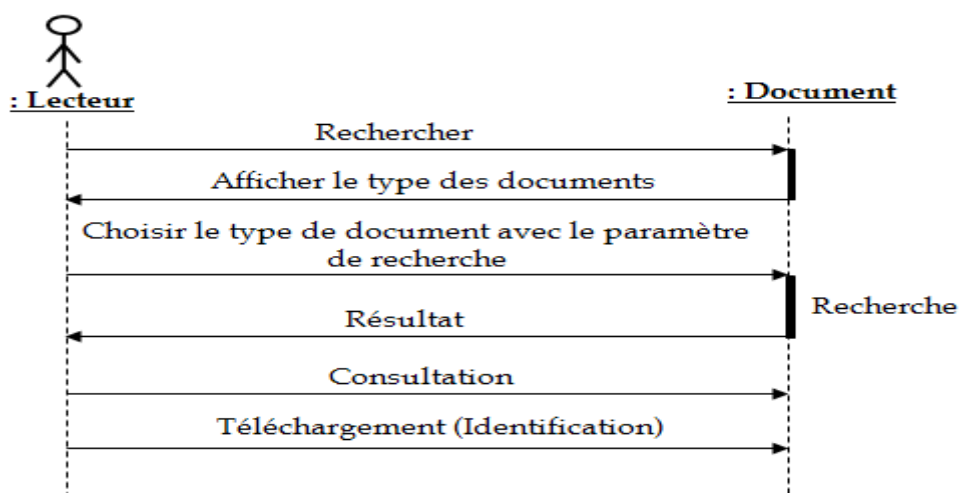


Figure 49. *Recherche documentaire*

La recherche se fait de la manière suivante :

- Le lecteur lance la recherche d'un document.
- Le système affiche la liste des types de documents.
- Le lecteur choisit le document à rechercher avec précision d'un paramètre de recherche.
- Le système affiche le résultat qui convient aux critères de la recherche.

Après la recherche, le lecteur diverge vers deux actions : soit il demande la consultation du document recherché ou bien il le télécharge.

(B) Diagramme de gestion du fond documentaire

La gestion du fond documentaire comporte les scénarios suivants :

❖ Ajouter un document

- L'administrateur demande l'ajout des nouveaux documents.
- Le système affiche le type de document à ajouter.
- L'administrateur sélectionne le type approprié.
- Le système affiche une nouvelle fiche pour l'ajout.
- L'administrateur saisie les informations et les valide.
- Le système enregistre le nouveau document.

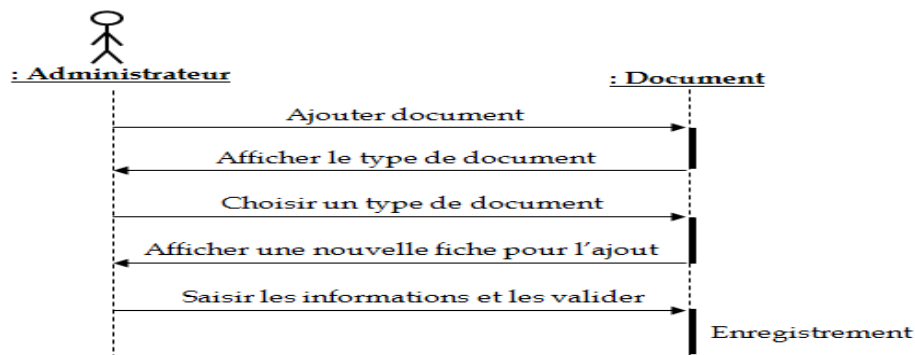


Figure 50. *Ajouter un document*

❖ Modifier un document

- L'administrateur demande la liste de document à modifier.
- Le système affiche la liste de document.
- L'administrateur choisit un document.
- Le système affiche les informations de ce document.
- L'administrateur modifie les informations.
- Le système enregistre les nouvelles informations.

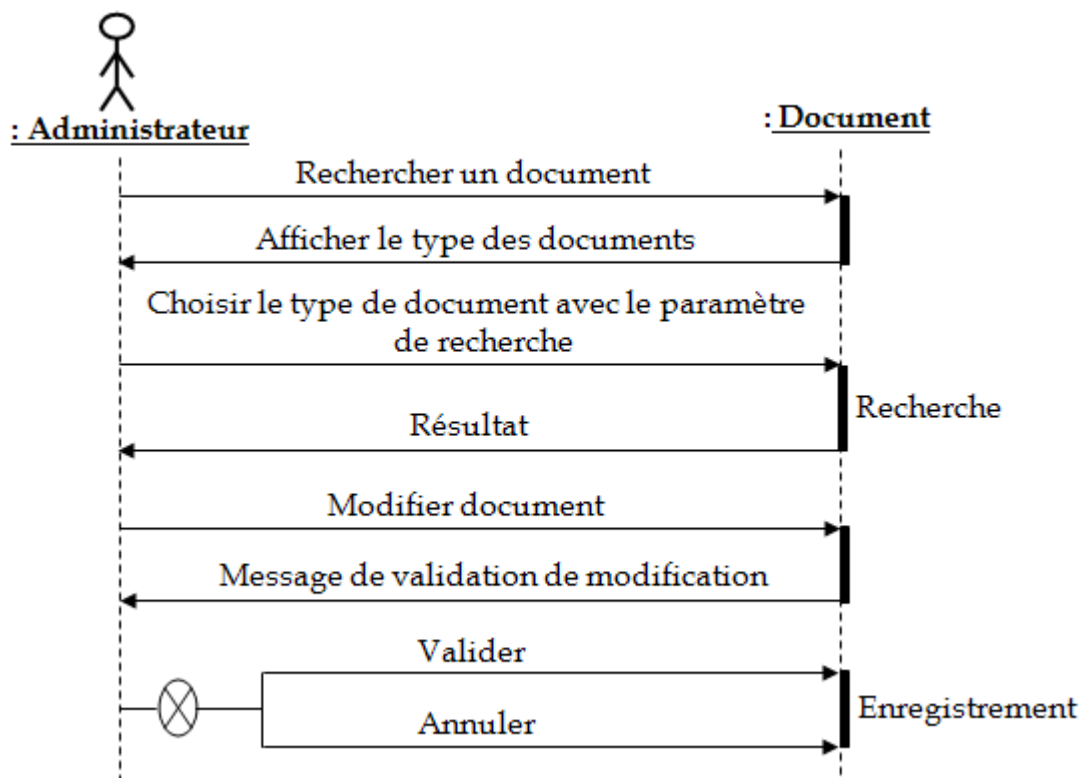


Figure 51. *Modifier un document*

❖ Supprimer un document

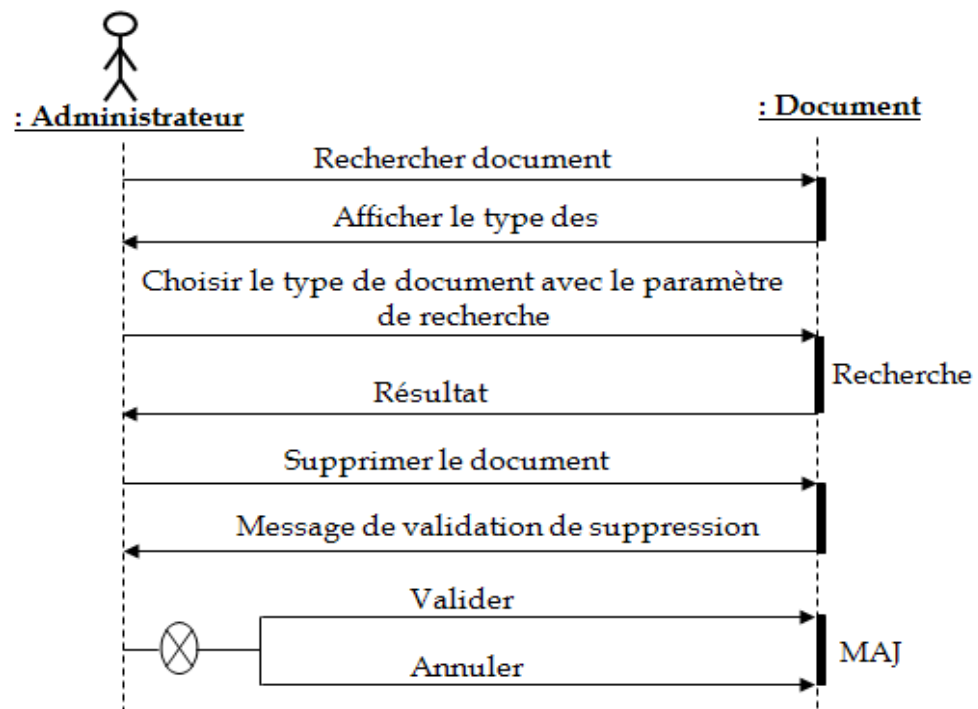


Figure 52. *Supprimer un document*

- L'administrateur demande la liste de document à supprimer.
- Le système affiche la liste de document.
- L'administrateur choisit un document.
- Le système supprime ce document.

4.3.2.4 Diagramme de collaboration

Les fonctionnalités décrites par les cas d'utilisation sont réalisées par des collaborations d'objets du domaine. La réalisation des collaborations fait intervenir des objets supplémentaires qui n'appartiennent pas au domaine de l'application mais qui sont nécessaires à son fonctionnement. Ces objets effectuent généralement l'interface entre le système et l'utilisateur, ou entre le système et un autre système. La représentation de ces objets permet d'évaluer le coût de l'application.

(A) Modification d'un document

Le diagramme de collaboration suivant représente la modification des informations d'un document.

L'opération lire permet à un objet d'interface d'extraire les informations contenues par un objet du domaine afin de les montrer aux utilisateurs par contre, l'opération écrire lui permet de transférer des informations en provenance d'un utilisateur vers un objet du domaine.

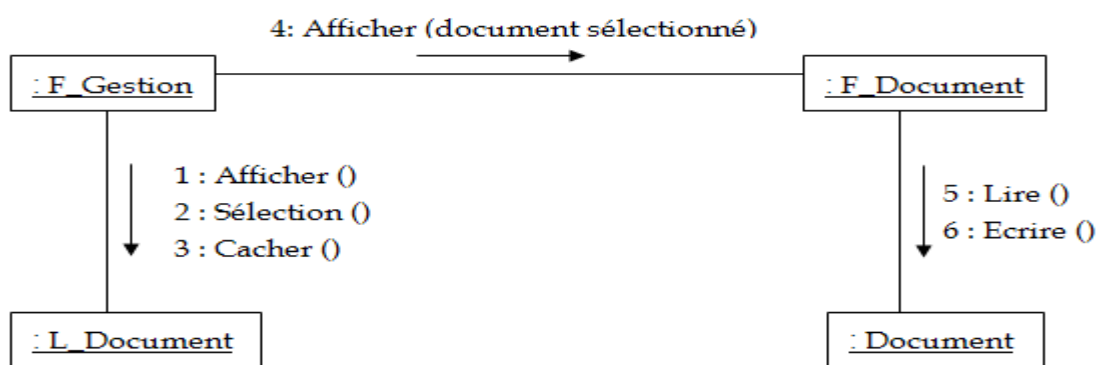


Figure 53. *Modification d'un document*

(B) Suppression d'un document

Le diagramme de collaboration ci-dessous correspond à la suppression d'un document. À travers la fenêtre de gestion, l'administrateur choisit le document approprié parmi une liste de documents et le supprime en exécutant l'opération de suppression.

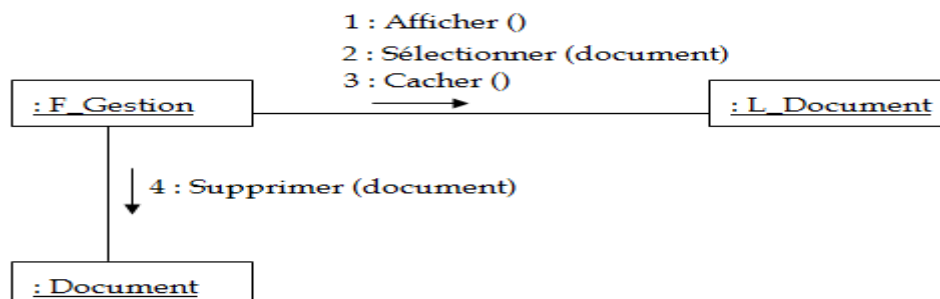


Figure 54. *Suppression d'un document*

(C) Ajout d'un document

L'ajout d'un nouveau document se fait par la saisie des informations concernant ce dernier dans une nouvelle fiche. L'administrateur est le seul qui a le privilège d'ajouter des documents. Le diagramme de collaboration suivant présente la façon d'y procéder pour ajouter un document.

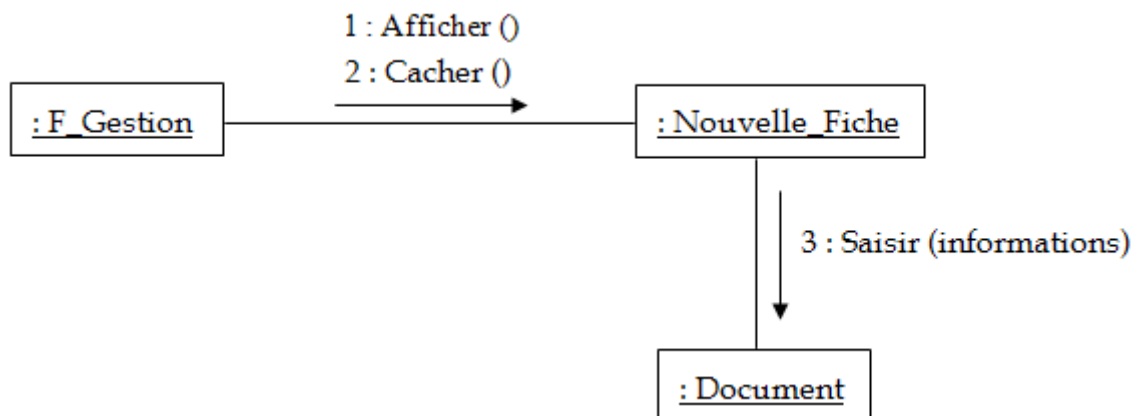


Figure 55. *Ajout d'un document*

(D) Recherche d'un document

La figure ci-dessous correspond au diagramme de collaboration qui représente les opérations qui interviennent dans la recherche d'un document.

Dans un premiers temps, le lecteur doit sélectionner le paramètre de recherche après avoir choisit le type du document désiré. Ensuite, et d'après le résultat, il peut consulter ou télécharger le document.

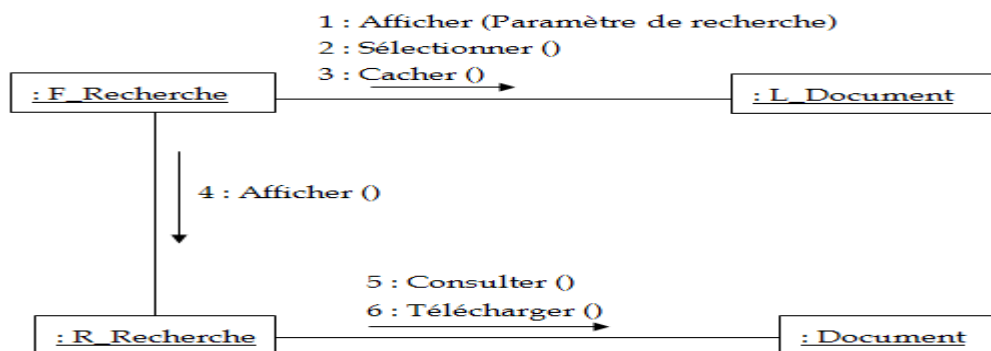


Figure 56. *Recherche d'un document*

4.3.3 L'apport du modèle objet à la bibliothèque électronique

Nous avons opté une méthode de conception orientée objet pour la modélisation d'une bibliothèque électronique car l'approche objet favorise, entre autres, le développement :

- d'applications qui peuvent être combinés entre eux Par exemple, en utilisant des interfaces standard pour faire communiquer des composantes logicielles (compatibilité).
- d'applications réutilisables, c.-à-d. qui peuvent être réutilisés pour de nouvelles applications.
- d'applications extensibles, pouvant être adaptés à des changements de spécifications Par exemple : minimiser les changements à faire dans des implantations lorsque des changements sont apportés aux spécifications.

4.3.4 Structure XML pour le stockage des documents électroniques

La structure d'un document XML se présente comme une suite d'éléments enchâssés les uns dans les autres : chaque élément possède une balise de début (<balise>) et une balise de fin (</balise>). Afin de mieux visualiser la structure du document, les éléments sont présentés avec des indentations successives comme l'illustre l'exemple ci-dessous.

```
<paper>
.....
  <theme> Electronic library </theme>
  <authors>
    < author> Djamila Mechta</ author>
    < author> Saad Harous</ author>
    < author> Mahieddine Djoudi</ author>
  </ authors >
.....
```

Figure 57. *Structure du fichier paper.xml*

4.4 Modélisation des ressources persistantes

4.4.1 Diagramme de classes

Le côté statique de CVL@b est présenté par un diagramme de classes décrivant la base de données manipulée. Le diagramme est composé de deux parties distinctes : partie scolarité et la partie reliée au Télé-TP concerné. Nous nous contentons par la description de la deuxième partie. On considère un Télé-TP comme étant une composition de plusieurs phases ; chaque phase à son tour comprend plusieurs étapes. Un ensemble d'objets virtuels est mis à la disposition des apprenants. Ces objets virtuels ont deux types : matériel ou solution.

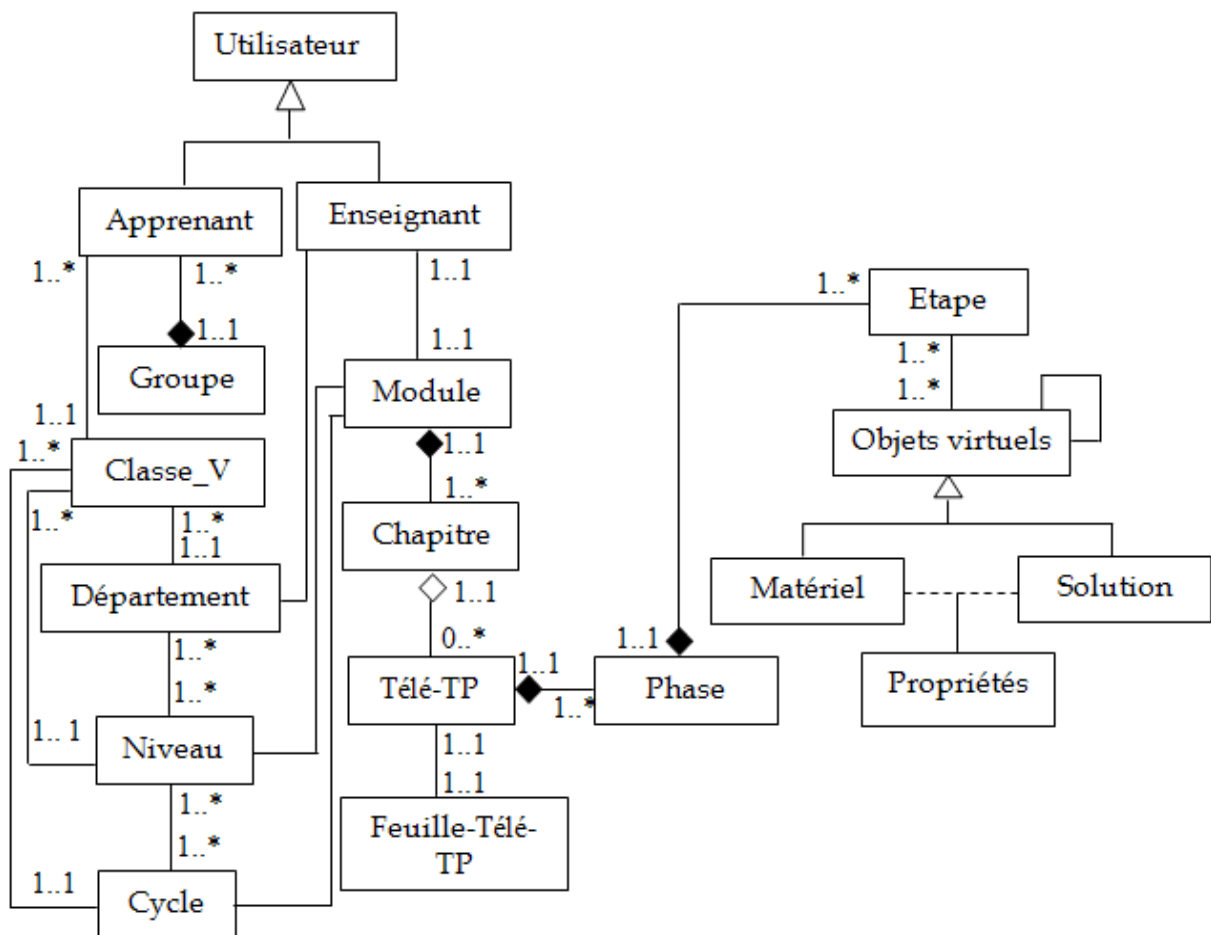


Figure 58. Le diagramme de classes

4.5 Conclusion

Ce chapitre se focalise sur deux volets importants des documents pédagogiques électroniques. Il porte sur la conception d'un prototype générique d'une feuille de Télé-TP ainsi celui d'une bibliothèque électronique avec UML pour les acteurs de CVL@b.

En apportant notre touche personnelle sur le plan conceptuel, nous sommes arrivés à un résultat satisfaisant: deux modèles objet dont l'un est une maquette générique et portable des feuilles de Télé-TP ; qui offre aux acteurs un ensemble d'objets, ensemble des moyens d'actions, et de facilités qui permettent à chacun d'accomplir son rôle.

Tandis que, l'autre est le modèle objet d'une bibliothèque électronique qui est considérée comme un outil de documentation pour les apprenants afin de faciliter la compréhension de leurs travaux pédagogiques dans un processus d'apprentissage à distance. Différents traitements tels que la recherche, la consultation et le téléchargement sont effectués sur cette dernière pour mieux servir les apprenants.

Ces modèles se voient nécessaires afin de mettre en place un éditeur des scénarii pédagogiques opérationnels ainsi une bibliothèque électronique au niveau de la plateforme CVL@b qu'on est entrain de l'implémenter.

Chapitre 5 : Système de collaboration dans CVL@b

5.1 Introduction

Le principal objectif des travaux pratiques est de confronter les connaissances des apprenants à la réalité. Dans ce travail, nous apportons une dimension supplémentaire : la distance, en nous intéressant à la télé-formation expérimentale. Le qualificatif « expérimentale » s'applique sur les situations de formation où l'apprenant manipule et interagit avec des objets virtuels et confronte les résultats obtenus aux modèles théoriques.

Le recours vers les laboratoires virtuels apporte une solution prometteuse à la problématique de simulation des Travaux Pratiques par la possibilité de reconstituer des situations classiques d'enseignement en présentiel (salles de TP traditionnelles), mais aussi de dépasser les limites, et même d'envisager des utilisations totalement spécifiques à l'exploitation d'ordinateurs totalement dématérialisés, n'importe quand et de n'importe où.

Les Télé-TP collaboratifs sont une forme d'apprentissage qui nécessite le travail en groupe où l'apprenant : accomplit des tâches, exprime des idées, partage des outils, communique avec d'autres apprenants, etc.

La mise en place de ce type de travaux pratiques à distance ajoute de nouvelles difficultés : organisationnelles, humaines, et bien entendu, techniques. Le partage des outils entre les apprenants, la gestion des accès concurrents, la communication entre apprenants et enseignants en sont des exemples.

Afin de remédier la situation d'apprentissage individuelle ainsi les difficultés mentionnées ci-dessus, nous proposons un agent artificiel "A_Coordonateur" qui permet de synchroniser et coordonner les activités d'un processus cognitif de manière à construire et à maintenir une conception partagée d'un Télé-TP entre un groupe d'apprenants. Cet agent assure certaines fonctionnalités telles que : la gestion des groupes d'apprenants, coordination des tâches, partage des Workspace des membres du groupe de travail et la synchronisation des agents Workspace, autrement dit la synchronisation des accès concurrents aux objets virtuels manipulés qui sont considérés comme des ressources critiques, lorsqu'ils désirent manipuler des objets virtuels partagées simultanément.

Nous avons opté pour les réseaux de pétri afin d'illustrer le principe d'autorisation d'accès aux objets partagés dans le cas des demandes simultanées.

L'intérêt de ce chapitre est de bien montrer les rôles de cet agent, son fonctionnement et ses interactions avec l'ensemble d'agents existant dans CVL@b.

5.2 Problématique de l'enseignement collaboratif des Télé-TP

Pendant longtemps, les théories sur l'apprentissage collaboratif ont privilégié la question du fonctionnement de l'individu au sein d'un groupe. La cognition était alors considérée comme le produit de processus individuels et le contexte de l'interaction sociale était perçu comme un simple arrière-fond.

Récemment, le groupe lui-même est devenu l'unité d'analyse et le point de vue de la recherche s'est déplacé vers les propriétés de l'interaction émergentes sur le plan social.

En termes de recherche empirique, le but était, à l'origine, d'établir si l'apprentissage collaboratif était plus efficace que l'apprentissage individuel et dans quelles conditions. Les chercheurs contrôlaient plusieurs variables indépendantes (la taille du groupe, sa composition, la nature de la tâche, le média de communication etc.) qui interagissaient

les unes avec les autres de telle manière qu'il était presque impossible d'établir des liens de causalité entre les conditions et les effets de la collaboration.

Dans un TP conventionnel, les apprenants s'engagent mutuellement dans un effort coordonné pour résoudre ensemble un problème pratique ; ils s'échangent des connaissances sur le TP et le réalisent en partageant les outils d'expériences nécessaires. Donc, un espace de Télé-TP collaboratif est un environnement informatique destiné à faciliter l'échange d'information, la discussion et la coordination au sein d'un groupe et le partage des ressources de manipulation.

Dans le cas où les groupes veulent coopérer ainsi quand les apprenants du même groupe désirent travailler d'une façon collaborative ; c'est-à-dire, quand les apprenants partagent le même espace de travail, le problème qui se pose est comment garantir l'exclusion mutuelle dans l'accès aux objets virtuels partagés ? Et comment coordonner les tâches entre les différents apprenants ?

Notre travail se focalise sur le développement d'un espace de Télé-TP collaboratif où la nature des tâches réalisées ainsi leur complexité diffèrent de celles des Télé-Cours, Télé-TD, etc. Cette différence a exigé un mode de collaboration spécifique qui fera l'objectif de ce chapitre. Dans ce qui suit, nous allons présenter les modes de collaborations existants.

5.3 Les modes de collaboration

La classification proposée est basée sur les attributs identifiés par (Allwood, Traum, Jokinen, 2000 ; Hoc, 2003 ; Panitz, 1997). Ces attributs qui peuvent servir à caractériser le travail collaboratif sont la division du travail, la dimension espace/temps des interactions. De plus, nous avons jugé important d'inclure le nombre d'acteurs impliqués dans la situation de travail collaboratif comme critère supplémentaire de cette classification. En effet, il y a une distinction entre des situations collaboratives

impliquant un petit groupe de participants (de deux à quatre participants) et celles impliquant un nombre d'acteurs plus important (par exemple les projets).

5.3.1 La division du travail

Lorsqu'on discute de la collaboration sous l'angle de la division du travail, on distingue deux formes :

5.3.1.1 Collective (collaboration)

Les apprenants partagent la même tâche. Les tâches de chacun des apprenants dans ce cas sont interdépendantes et les rôles interchangeables. En effet, l'allocation des tâches est dynamique (gérée en temps réel selon le contexte instantané). Ceci peut être expliqué par le fait que le travail collaboratif est dynamique. Il est alors difficile de distinguer l'apport de chaque participant dans le résultat final.

5.3.1.2 Distribuée (coopération)

Les apprenants sont semi-autonomes. Ils se répartissent alors les tâches et travaillent séparément. Les sous-tâches sont alors indépendantes les unes des autres. On peut encore distinguer à la fin l'apport de chacun des participants dans le résultat final. De plus, l'allocation des tâches dans ce cas est souvent statique (préalable à l'action). Pendant l'exécution des tâches, les participants ne sont pas forcément conscients de l'existence de leurs partenaires ni informés de leurs activités courantes.

5.3.2 La dimension espace/temps des interactions

La distribution spatiale des collaborateurs : Elle dépend de la localisation de chacun des participants durant l'activité collaborative. On peut distinguer deux formes possibles : situation présenteielle où les membres du groupe se trouvent dans le même lieu. Dans ce cas les apprenants peuvent interagir librement. La situation à distance (ou distribuée) où les apprenants du groupe sont distribués dans des lieux éloignés, qu'ils soient situés à l'intérieur d'un même pays ou disséminés à travers des continents.

Distribution temporelle des collaborateurs : Elle ne repose pas seulement sur les activités du groupe mais aussi sur les techniques de transmissions des données (transmission synchrone ou asynchrone). Elle permet de distinguer deux formes de collaboration : collaboration en temps réel (moments identiques) et en temps différé. Dans la première forme, les activités du groupe s'effectuent en temps réel. Toute action d'un membre du groupe est immédiatement retransmise aux autres membres. Il s'agit alors d'une collaboration synchrone. Tandis que la deuxième forme, les membres du groupe agissent en temps différé. Les actions sont espacées sur l'échelle du temps et un membre du groupe observe la somme des interventions qui se sont effectuées avant son arrivée. Il est nécessaire alors de conserver l'état du système à tout moment. Des notifications sont envoyées aux utilisateurs afin de mettre en valeur les modifications effectuées entre deux visites d'un même utilisateur. On prévoit aussi dans ce cas des systèmes indiquant qui est actuellement connecté. On parle alors de collaboration asynchrone.

5.3.3 Le nombre d'acteurs

Il est évident que dans les TP collaboratifs, le nombre d'apprenants est limité. En effet, les interactions au sein d'un groupe sont influencées par sa taille. Cette influence concerne notamment la performance du groupe, les prises de décision et la communication. L'augmentation de la taille du groupe rend la communication moins interactive et peut ainsi affecter l'entente qui s'instaure entre les membres du groupe.

Dans notre contexte, les situations d'apprentissage:

- Collaboratives/coopératives de point de vue division de travail.
- Permettent la collaboration synchrone et asynchrone et que les apprenants travaillent à distance.
- Exigent un nombre limité d'apprenants par groupe.

5.4 Architecture du Système de collaboration de CVL@b

Notre architecture (voir figure 59) a été imposée dans la mesure où elle va régler le problème des demandes simultanées des objets virtuels et la coordination des tâches. Un nouvel agent nommé A_Coordonateur est créé à chaque création d'un groupe de travail. Cet agent est actif en permanence tant qu'il existe un apprenant connecté dans un groupe donné. Son rôle est :

- Encapsulation de toutes les tâches de la gestion des groupes et coordonne la réalisation de l'expérimentation en groupe (sachant que chaque groupe a son propre agent A_Coordonateur).
- Partage de l'espace de travail et l'espace d'édition du compte rendu.
- L'allocation et destruction des objets virtuels.
- Assurance de la synchronisation d'accès aux ressources ou objets virtuels partageables dans le cas des Télé-TP collaboratifs.
- Mis à jour de l'état global de l'espace de travail commun.
- Diffusion de l'état global aux différents espaces de travail apprenants.

La figure suivante montre les nouveaux agents artificiels (L'agent Connecteur et A_Coordonateur) ainsi leurs interactions avec l'ensemble des agents existant.

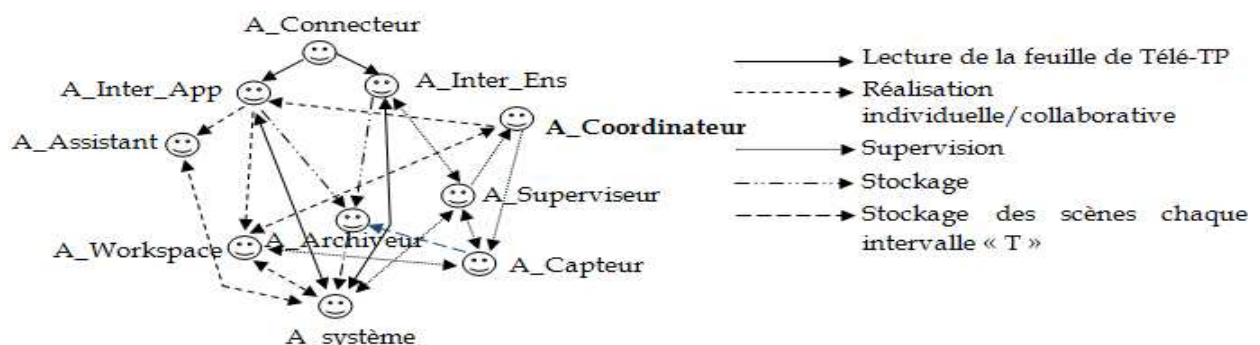


Figure 59. Diagramme d'interactions

La présence de l'agent A_Coordonateur dans cette architecture a donné lieu aux plusieurs changements :

- Permet la réalisation des Télé-TP d'une façon collaborative et minimise la charge de l'agent A_Système ; cet agent est maintenant utilisé simplement pour l'extraction des données des différentes bases de données.
- Quand le Télé-TP est collectif, l'agent A_Coordonateur est impliqué pour assurer la synchronisation des agents Workspace demandeurs des objets virtuels et/ou d'autres ressources critiques. Ce dernier va vérifier la possibilité d'autorisation ou non.
- La procédure de supervision en temps réel : auparavant l'agent superviseur s'adresse au capteur directement pour commencer les captures du Workspace ; il existe un seul apprenant et donc un seul capteur, mais maintenant ce n'est plus le cas du fait que le Télé-TP est collectif et par conséquent le nombre d'apprenants est supérieur strictement à un, autrement dit il existe plusieurs capteurs (il existe autant de capteurs que le nombre des membres de groupe connectés). Alors l'agent A_Coordonateur s'intervient à ce stade pour localiser le capteur voulu.
- Tout changement d'état de l'environnement partagé de l'expérience sera diffusé par l'A_Coordonateur aux différents postes clients apprenants du même groupe.

5.5 La structure modulaire de l'agent A_Coordonateur

L'agent A_Coordonateur est structuré en un ensemble de modules. Chaque module assure certaines fonctionnalités : Gestion des groupes, coordination des tâches, partage du Workspace, allocation des objets virtuels et synchronisation des agents Workspace, mise-à-jour de l'état globale de l'espace de travail commun et sa diffusion.

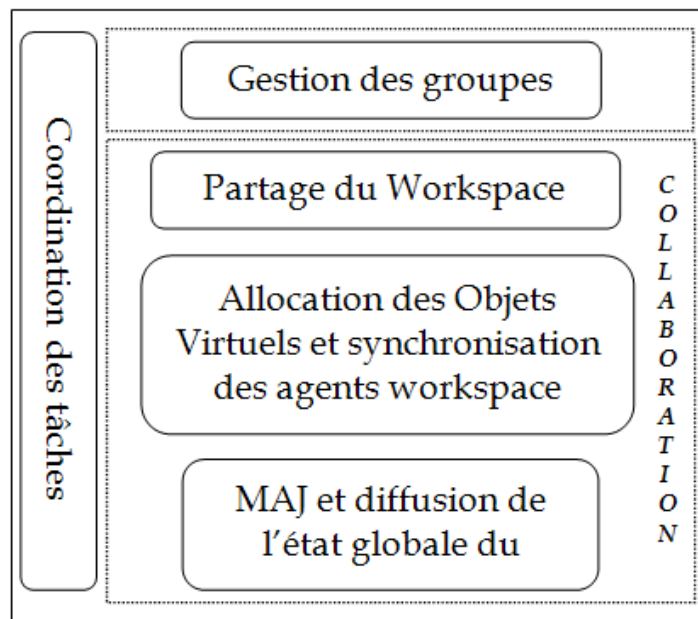


Figure 60. *Structure modulaire de l'A_Coordonateur*

5.5.1 La gestion des groupes

Lorsqu'un apprenant s'inscrit, l'agent A_Coordonateur se charge de lui affecter à un groupe (Faerber, 2002) selon son choix :

- Si l'apprenant choisit volontairement son groupe avec le consensus des autres membres du groupe, l'agent A_Coordonateur n'a que valider ce choix ;
- Dans le cas contraire, le choix du groupe est systématique.

Quand un apprenant se connecte, l'agent A_Coordonateur lui ajoute dans la liste des apprenants en lignes. Il procède ensuite à la diffusion de cette liste aux tuteurs pour leurs permettre de superviser les groupes d'apprenants et aux membres du groupe connectés pour qu'ils puissent travailler ensemble. Le même procédé est exécuté si un enseignant vient de se connecter ; un message d'information est diffusé par l'agent A_Coordonateur aux apprenants connectés afin de bénéficier d'assistance.

5.5.2 Mise à jour et diffusion de l'état global des Workspace du groupe

L'agent A_Coordonateur reçoit les changements subis ou effectués sur les objets virtuels dans les différents Workspace et les sauvegarde (mettre à jour l'état global de l'environnement graphique) pour garder un état global concernant les Workspace des membres du groupe qui ont procédé à un partage. Puis, en premier lieu, il informe les autres espaces de travail du groupe sur les changements de l'objet ensuite diffuse cet état aux apprenants qui viennent de se connecter et désirant le partage.

5.5.3 Le partage du Workspace

Un espace de travail (Workspace) est un environnement graphique où l'expérimentation tient place. Il contient un ensemble d'éléments pédagogiques appelés objets virtuels manipulés par les groupes d'apprenants pendant une session de Télé-TP.

Durant cette session, les membres du même groupe peuvent collaborer d'où le partage de leurs Workspace. Ce partage implique la manipulation simultanée des objets virtuels figurant dans le Workspace commun. De ce fait, on se trouve face à une situation qui pose le problème de synchronisation des agents Workspace concurrents (sélection du même objet par la souris, déplacement d'un objet et la m-à-j d'un objet). Par conséquent, l'une des principales tâches de l'agent A_Coordonateur est de gérer et contrôler les accès concurrents aux différents objets virtuels.

La section suivante illustre le fonctionnement détaillé de l'agent A_Coordonateur face à l'allocation et la synchronisation des agents Workspace.

5.5.3.1 Modélisation du fonctionnement de l'allocation de ressources par les réseaux de pétri

Dans le contexte de la programmation concurrente, l'allocation de ressources est l'opération permettant d'affecter des ressources à un processus particulier. Cette opération est nécessaire pour garantir les accès adaptés à des ressources partagées entre

plusieurs processus. Une telle opération n'est pas nécessaire pour les ressources non partagées.

Dans notre situation, nous avons opté pour un modèle formel pour la modélisation générique du problème d'allocation des objets virtuels entre les différents agents Workspace lors des demandes de manipulation simultanées. Il s'agit du réseau de pétri qui est un graphe dirigé biparti ayant des jetons constituant le marquage.

Le réseau de pétri ci-dessous (voir figure 61) montre le principe d'allocation des objets virtuels dans notre système. Lorsque les apprenants veulent manipuler un objet virtuel commun au même temps, ils lancent la demande d'utilisation vers l'agent A_Coordonateur. Cet agent joue le rôle d'un allocateur de ressources où le jeton représente l'objet virtuel partagé. Il autorise l'utilisation d'un objet virtuel commun selon la stratégie FIFO : le premier arrivé c'est le premier servi. La propriété d'exclusion mutuelle est garantie par l'utilisation exclusive de l'objet virtuel. Durant la manipulation d'un objet virtuel partagé, toute modification des propriétés de ce dernier sera répliquée par l'agent A_Coordonateur sur les autres espaces du travail.

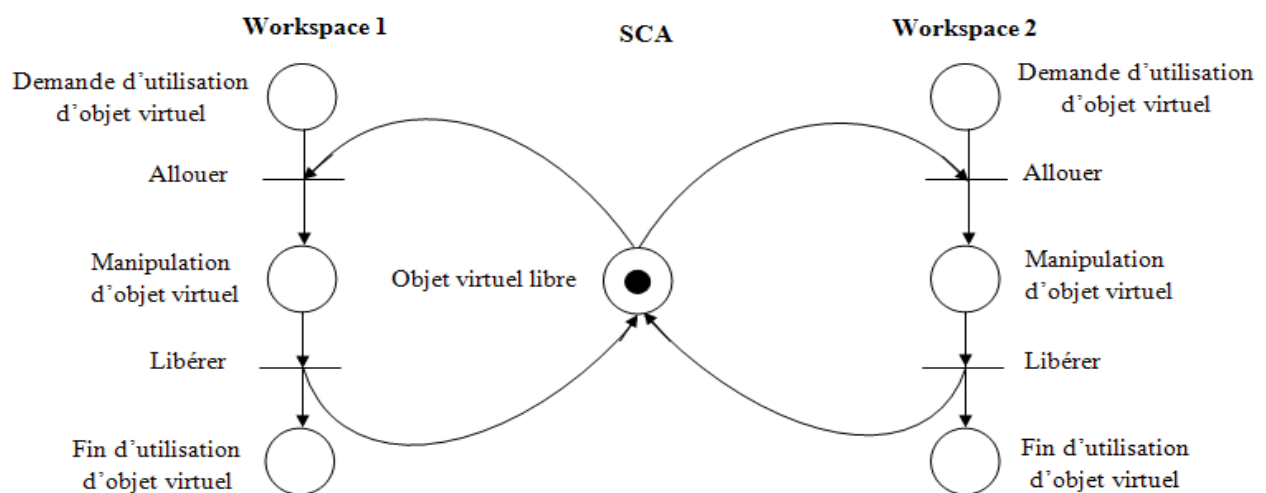


Figure 61. Réseau de pétri d'allocation d'un objet commun

5.5.3.2 Matrice des objets virtuels

C'est une structure statique de type tableau à deux dimensions dont les lignes représentent les différents Workspace des apprenants du même groupe et les colonnes représentent les objets virtuels créés dans chaque Workspace ainsi leurs propriétés (type d'objets, coordonnées de l'objet dans l'interface Workspace, occupé ou non, etc.).

Cette matrice représente aussi l'état graphique des Workspace des apprenants qui sont entrés dans une session d'apprentissage de type Télé-TP. Elle est alimentée par l'agent A_Coordonateur.

Tableau 2. *Matrice des objets virtuels*

Object Proprieties	Object Type	Position	Solution		Allowed by
workspace					
Workspace1	1	10,35	S1		Workspace2
Workspace2	1	20,50	S2		Available
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

5.5.3.3 Typologie de situation

a) 1^{er} cas : travail individuel

La figure 62 représente une situation d'apprentissage dont chaque apprenant travaille localement dans son propre Workspace. L'espace de travail de l'apprenant 1 et celui de l'apprenant 2 contiennent respectivement l'objet virtuel Obj1 et Obj2. Dans ce cas là, l'agent coordinateur n'intervient pas et donc, la matrice des objets virtuels est toujours vide.

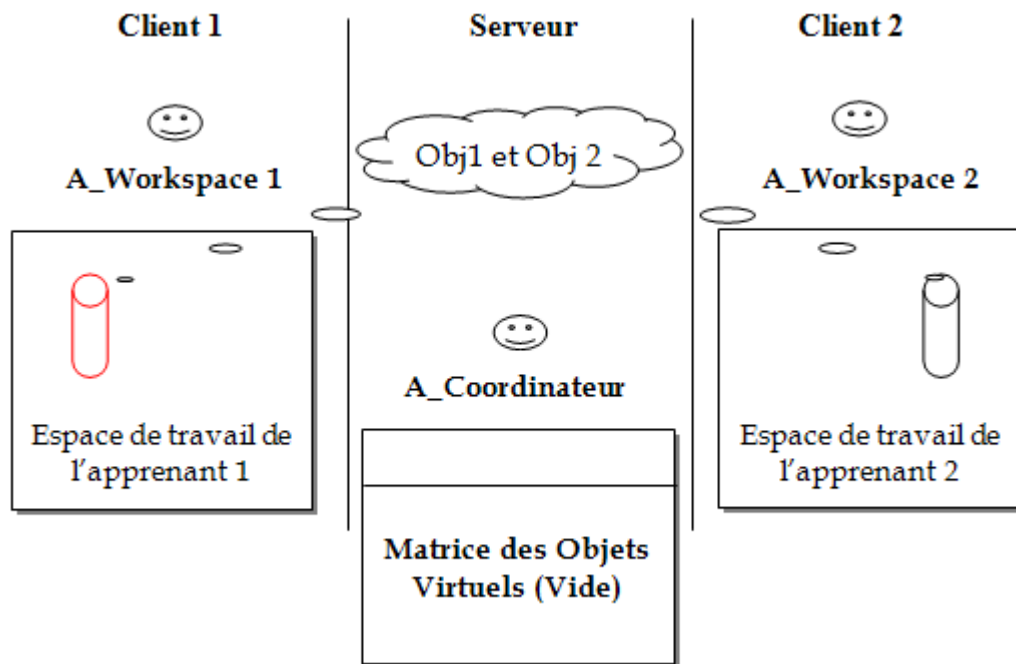


Figure 62. *Apprentissage individuel*

b) 2^{ème} cas : travail collaboratif

Chaque apprenant a ses propres objets virtuels dans son espace de travail. Si un apprenant i ($Workspace_i$) veut partager son espace de travail, il adresse sa requête à l'agent $A_Coordinateur$ qui s'occupe de mettre à jour la matrice des objets virtuels et diffuser le nouvel état aux apprenants concernés. Donc, les objets virtuels deviendront communs (voir figure 63) d'où la synchronisation s'impose pour assurer leur utilisation en exclusion mutuelle. L'agent $A_Coordinateur$ via sa matrice des objets peut régler tout problème d'accès simultané au même objet. Cette matrice contient une colonne qui illustre l'état de l'objet (libre ou occupé) et l'alimentation de cette colonne est faite par le résultat du réseau de pétri qu'on a entamé précédemment.

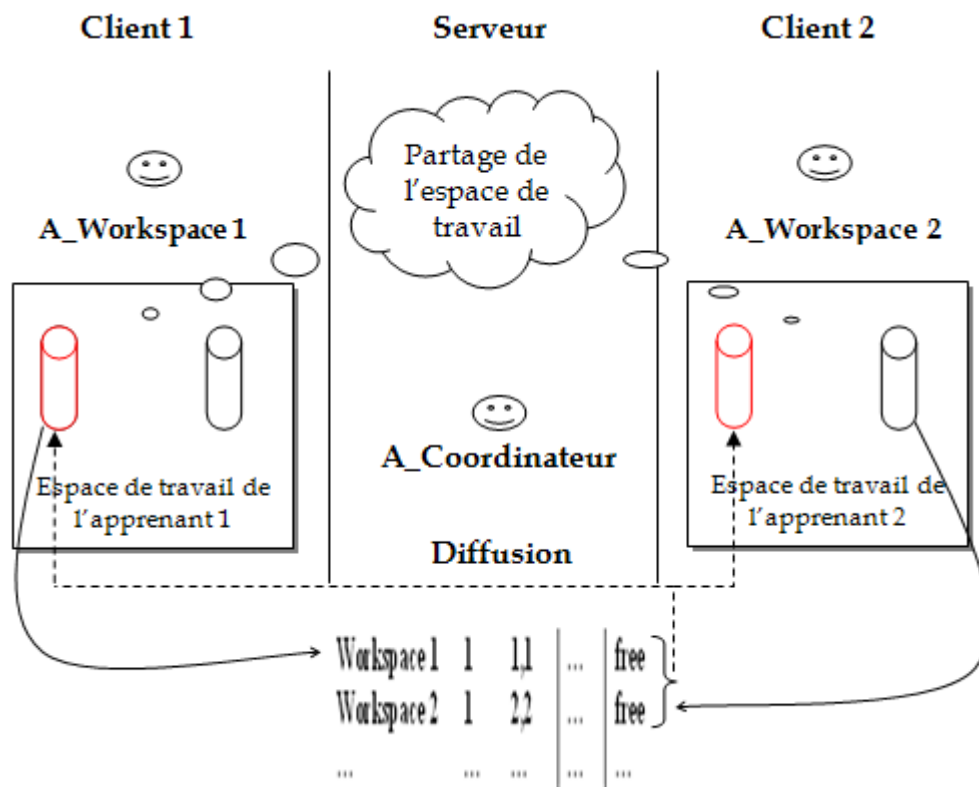


Figure 63. *Apprentissage collaboratif*

5.5.3.4 L'aspect dynamique de l'agent A_Coordonateur

Pour comprendre le fonctionnement de l'agent A_Coordonateur, un ensemble des états-transition sont décrit dans le chapitre 3, section 3.2.1.4.

5.5.4 Coordination des tâches

C'est une tâche implicite de l'agent coordinateur et s'intervient dans tout son cycle de vie. Elle consiste à coordonner les différentes tâches assignées aux agents artificiels présents dans une session d'activités de type Télé-TP.

5.5.5 Outils de collaboration

La collaboration est essentiellement faite d'interactions et de dialogue. C'est pourquoi, dans les environnements de collaboration, l'espace de communication domine. C'est

l'endroit où les apprenants se rencontrent, c'est le lieu où ils se parlent. C'est là où le groupe se cristallise; c'est l'espace qui lui permet d'exister et de vivre.

L'espace de communication se situe au cœur des environnements de collaboration parce que, justement, la communication est le cœur de la collaboration. Dans cet espace, les apprenants communiquent en mode synchrone ou asynchrone. L'espace de communication comprend donc des outils et est aménagé en lieux. Les outils les plus couramment utilisés sont : Chat, le courrier électronique et les forums.

Dans notre travail, un outil synchrone Chat ainsi un outil de messagerie électronique sont à la portée des apprenants durant leur session de Télé-TP collaborative afin qu'ils puissent interagir et travailler ensemble. A ces outils, s'ajoute un espace partagé d'édition des comptes rendu. Un espace de travail partagé favorisant la collaboration virtuelle est mis à la disposition des différents apprenants.

5.6 Conclusion

Notre travail tourne autour d'un système d'apprentissage collaboratif à distance de type laboratoire virtuel. Les aspects collaboratif/coopératif pourtant leurs intérêts au processus d'apprentissage, présentent des difficultés en termes de leurs concrétisation (implémentation) ; la gestion des accès concurrents et l'espace de travail partagé, les outils de communication entre apprenants, etc.

Dans ce chapitre, nous avons présenté une démarche originale pour la synchronisation des Télé-TP collaboratifs. Il s'agit d'un agent artificiel "A_Coordonateur" qui assure le bon déroulement des activités collaboratives d'un Télé-TP. Cet agent permet de gérer et contrôler les différents accès concurrents des agents Workspace aux objets virtuels partagés tout en coordonnant les tâches effectuées par l'ensemble d'agents impliqués dans ce processus.

Chapitre 6 : CVL@b un environnement d'un L@boratoire Virtuel Collaboratif

6.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter quelques résultats d'implémentation de CVL@b conçu dans les chapitres précédents. Nous allons présenter l'architecture logique de l'application et à la fin nous terminons par la présentation de l'application.

6.2 Architecture logique de l'application

D'après le diagramme de déploiement cité dans le chapitre 3 (section 3.2.2.4), nous avons constaté que l'architecture 3-tiers s'adapte mieux à notre application et elle présente des avantages tels que :

- Une plus grande flexibilité/souplesse ;
- Une sécurité accrue car la sécurité peut être définie indépendamment pour chaque service, et à chaque niveau ;
- De meilleures performances, étant donné le partage des tâches entre les différents serveurs.

Nous présentons ci-dessous l'architecture logique de notre application (voir figure 64)

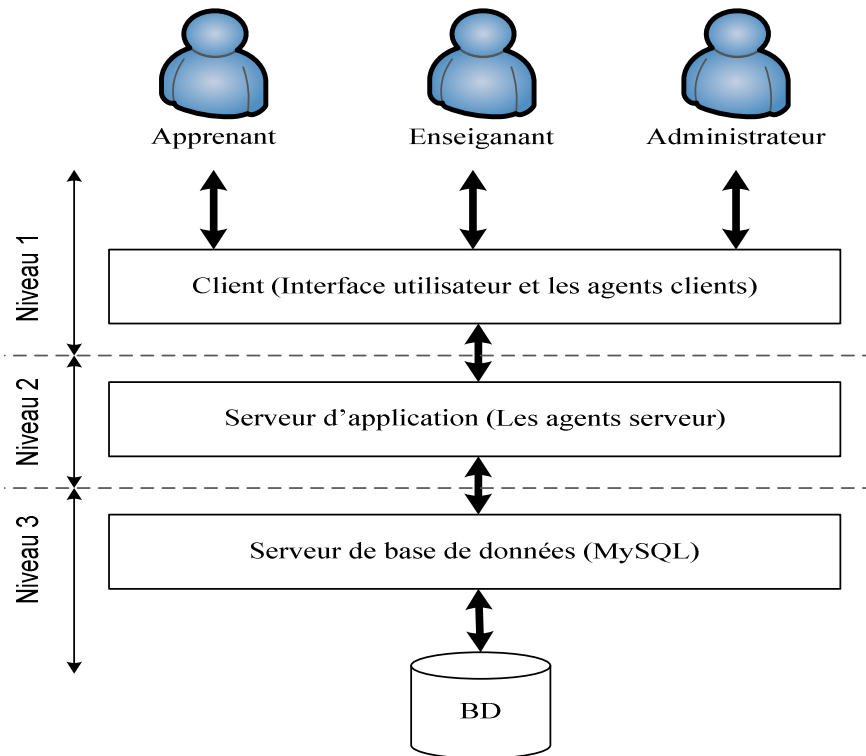


Figure 64. Architecture logique de l'application

Niveau 1 (Côté client): Cette partie doit être indépendante du système d'exploitation. Elle contient les différents agents (interface apprenant/enseignant, Workspace, capteur, assistant et superviseur) qui sont chargés de :

- La gestion des interfaces utilisateurs et l'interaction avec les autres agents situés dans le serveur d'application.
- Démarrage d'un Télé-TP et son arrêt.
- La modification des paramètres du Télé-TP.
- Recueil et visualisation des données mesurées.

Niveau 2 (Côté serveur d'application): il contient les agents (Système, Archiveur et Coordinateur) qui sont chargés de fournir les différentes ressources offertes par le serveur de base de données MySQL.

Niveau 3 (Le serveur de données MySQL): fournit aux agents du serveur d'applications les données dont ils ont besoin.

6.3 Accès à CVL@b

La figure 65 représente le RMA (Remote Agent Management) de la plateforme JADE. Elle contient 3 types de conteneurs ou récipient (Container) dont l'un est principale ; il comporte tous les agents artificiels créés au lancement de l'application (Système et Archiveur) en plus les trois agents permanents de JADE (DF, RMA et AMC).

Les deux autres conteneurs sont ceux des acteurs enseignants et apprenants.

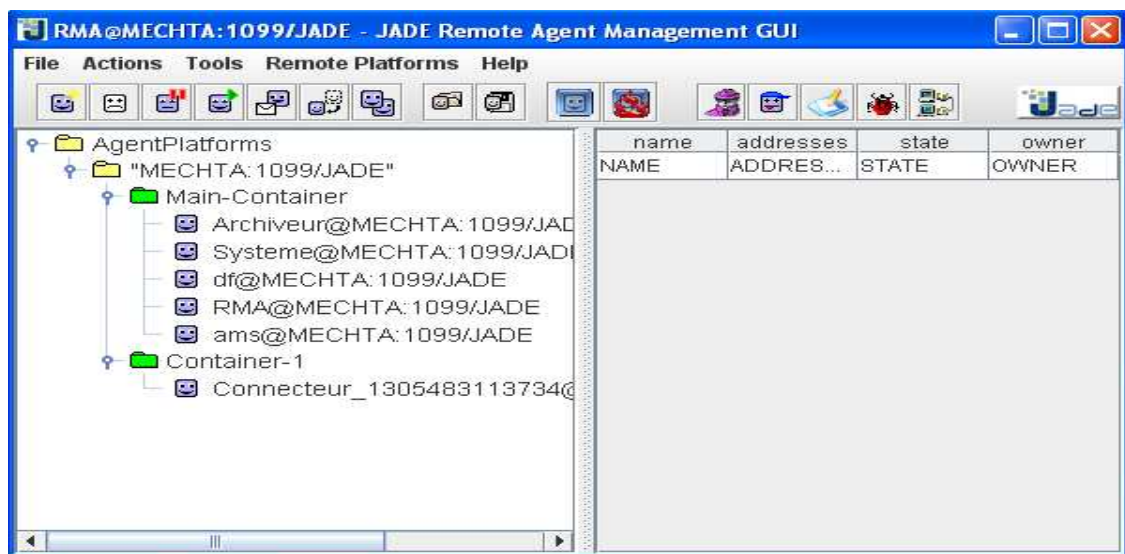


Figure 65. RMA du framework JADE

6.4 Système de gestion d'apprentissage (CVL@b-LMS)

6.4.1 Système d'enregistrement

Lorsqu'un utilisateur veut connecter à son espace personnel, il doit fournir un mot de passe (figure 66). Si ce dernier est erroné, un message d'erreur lui est envoyé. Sinon, après son identification, l'espace personnel de l'utilisateur (cartable/portfolio ou casier) sera chargé selon le type d'utilisateur (apprenant ou enseignant).



Figure 66. Fenêtre de connexion

Dans le cas où l'utilisateur n'est pas inscrit, il procède (voir figure 67) à une inscription et fournit toutes les informations exigées afin qu'il puisse être un membre dans CVL@b.

Figure 67. Fenêtre inscription

6.4.2 Environnement de Télé-TP

Cet espace offre à l'apprenant les outils nécessaires pour l'apprentissage à partir de la consultation de la feuille de Télé-TP jusqu'à la rédaction du compte rendu.

L'apprenant sélectionne le Télé-TP dans l'arbre situé dans la palette gauche de la figure 68 contenant les différents modules et chapitres. Son contenu sera chargé et affiché dans la palette droite comme l'illustre la figure ci-dessous.

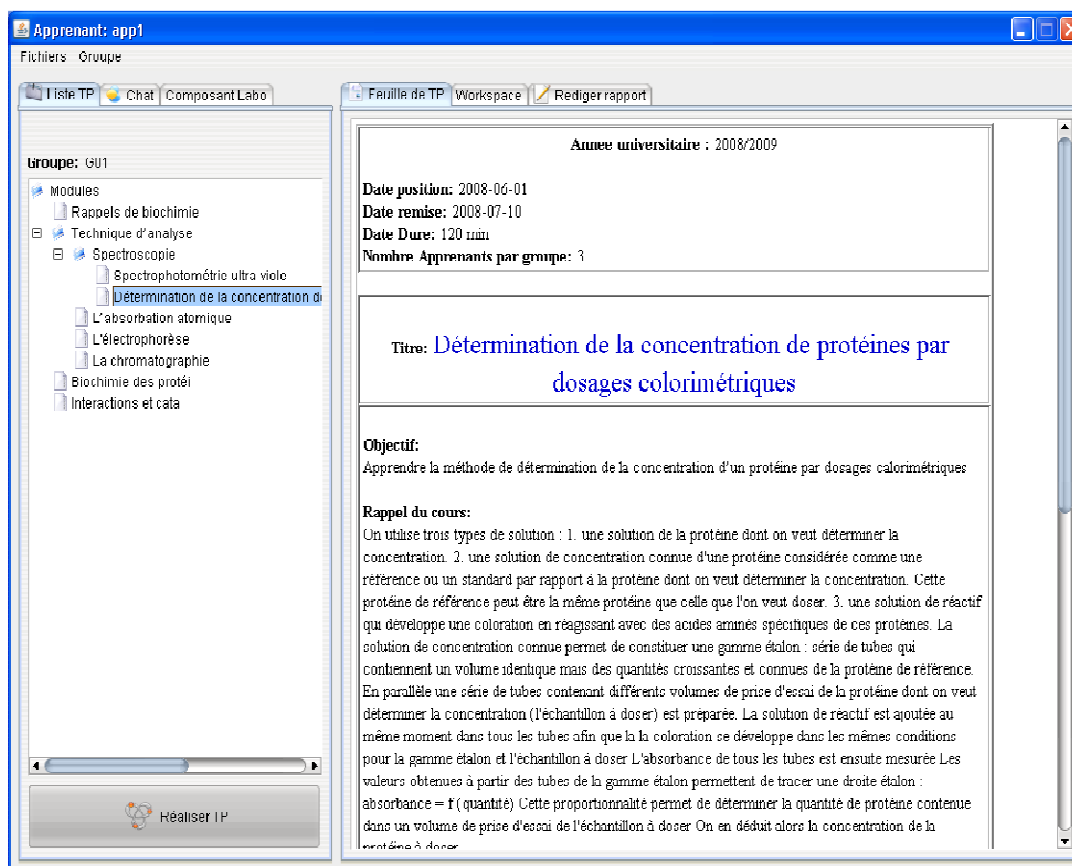


Figure 68. Espace Apprenant (Consultation de la feuille de Télé-TP)

Après la lecture du l'énoncé du Télé-TP, l'apprenant procède à son réalisation par un clique sur le bouton Réaliser Télé-TP où un chronomètre s'initialise. L'espace de travail (voir figure 69, la palette droite) et les outils nécessaires pour la création et la manipulation des objets virtuels (voir figure 69 la palette gauche) sont affichés.

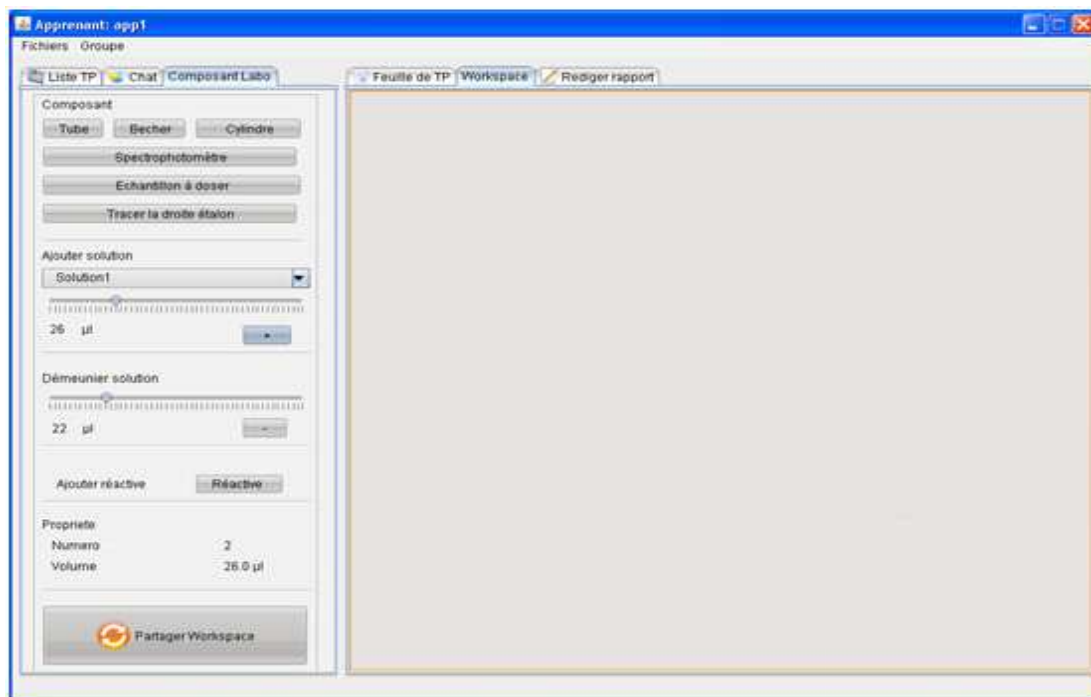


Figure 69. Espace Apprenant (Réalisation du Télé-TP)

A la fin de la réalisation du Télé-TP, le chef du groupe rédige en collaboration le rapport du Télé-TP réalisé moyennant l'éditeur de texte (figure 70), puis l'envoie à son enseignant pour une ultérieure évaluation.

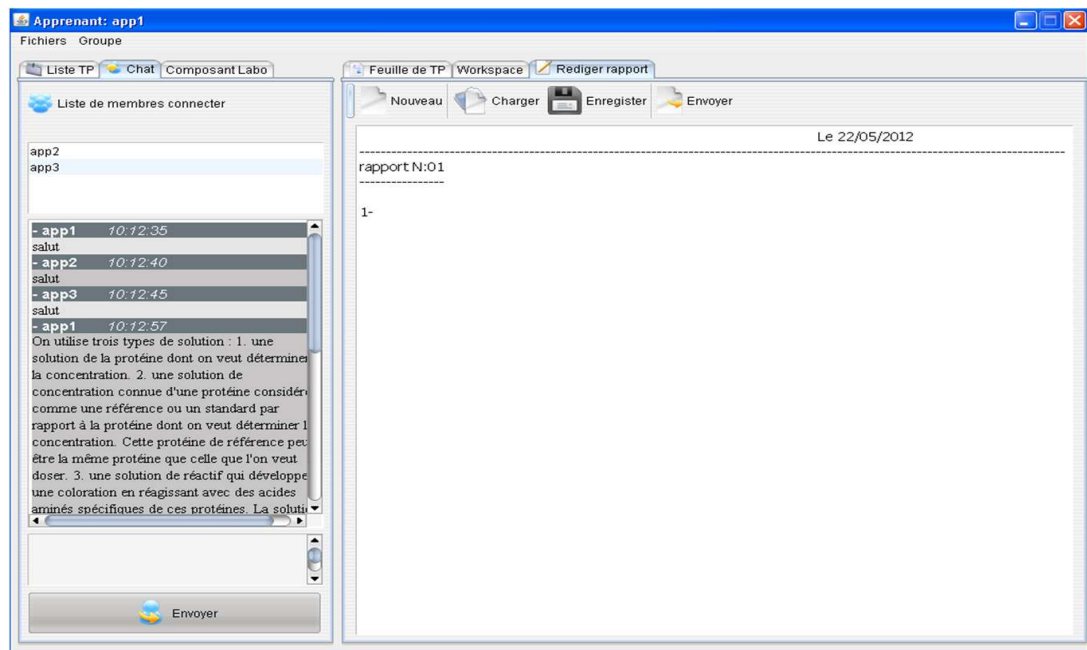


Figure 70. Espace Apprenant (Chat et Rédaction du compte rendu)

6.4.3 Système de supervision et de contrôle

Notre application offre à l'enseignant l'outil de supervision en temps réel et en temps différé pour qu'il puisse suivre le déroulement des apprenants durant leurs tâches d'apprentissage. Cet espace permet au tuteur de contrôler ses groupes d'apprenants.

Dans cette section, nous présentons le processus de supervision. D'après sa conception, il apparaît qu'il s'agit de simples interactions entre les différents agents. Mais, en réalité, c'est un système très complexe et que l'ensemble des interactions ne suffira pas pour mieux le définir. La figure 71 montre ce processus. Il se compose de six modules où chacun est assuré par un agent bien précis.

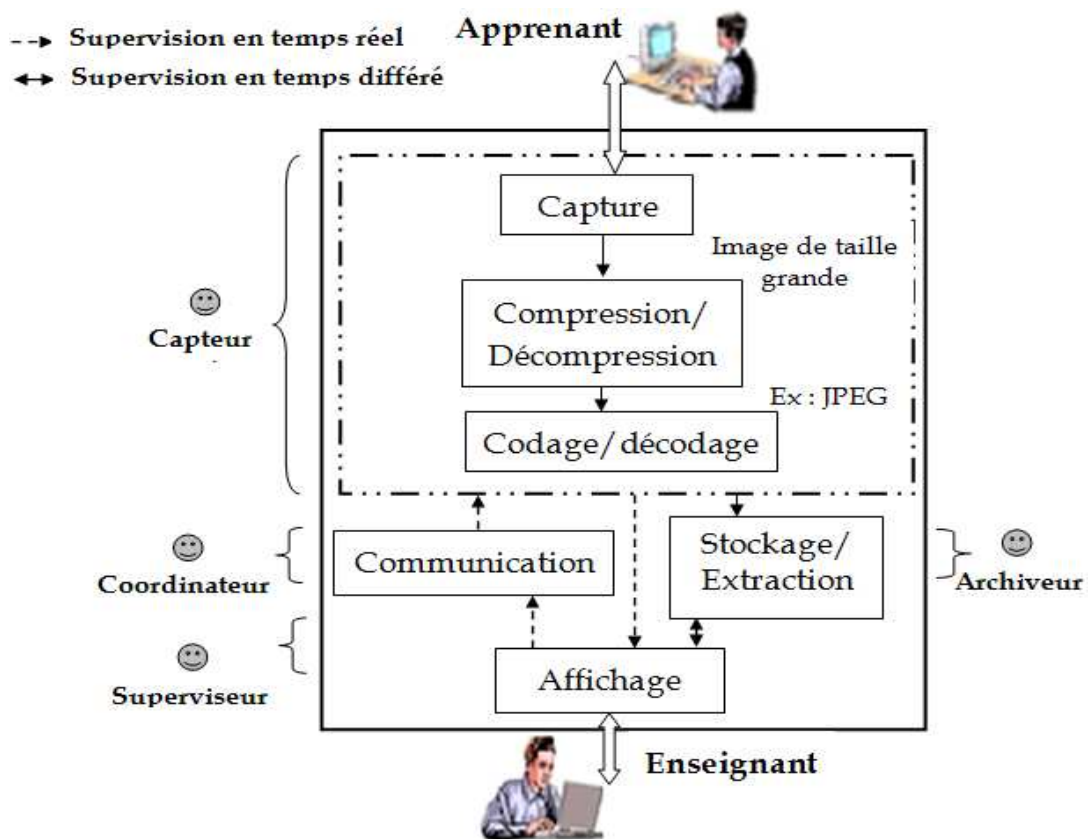


Figure 71. *Processus de supervision*

Module Capture: il s'agit de capter l'image ou succession d'images de l'écran d'un poste de travail où l'apprenant est connecté.

Module Compression: La taille de l'image captée est énorme ce qui fait appel aux techniques de compression telles que JPEG (image) ou MPEG (vidéo) (Huffman, Muller, 1993). Ces dernières servent à diminuer la taille et par conséquent augmenter la vitesse de transmission et diminuer la bande passante utilisée.

Module Codage/décodage: Puisqu'on est dans un réseau hétérogène, alors la présentation des données n'est plus identique. Afin de remédier à ce problème, le recours à la standardisation moyennant les algorithmes de codage/décodage s'impose et constitue une solution adéquate.

Les 3 modules sont réalisés par l'agent capteur.

Module Affichage : ce module est assuré par l'agent superviseur. Celui-ci reçoit les images captées, il procède à leur décodage ainsi que leur décompression. Il décompose l'écran du poste enseignant en 4 zones égales. Ensuite, selon le nombre d'apprenants supervisés, il affecte à chaque zone, l'image appropriée.

Module Communication : Ce module est assuré par l'agent coordinateur. Il établit la liaison entre les différents modules.

Module Archivage/extraction: il s'agit de stocker et restaurer les tâches réalisées par les apprenants. Il est accompli par l'agent A_archiveur.

La partie contrôle se réalise via l'outil de communication synchrone de type Chat (Aides textuelles par conseils contextuels (liés à la tâche) et/ou adaptatifs (liés aux actions de l'apprenant dans le système ou par questions/réponses).

Les figures suivantes (figure 72 et figure 73) représentent des écrans pendant le processus de supervision en temps-réel.

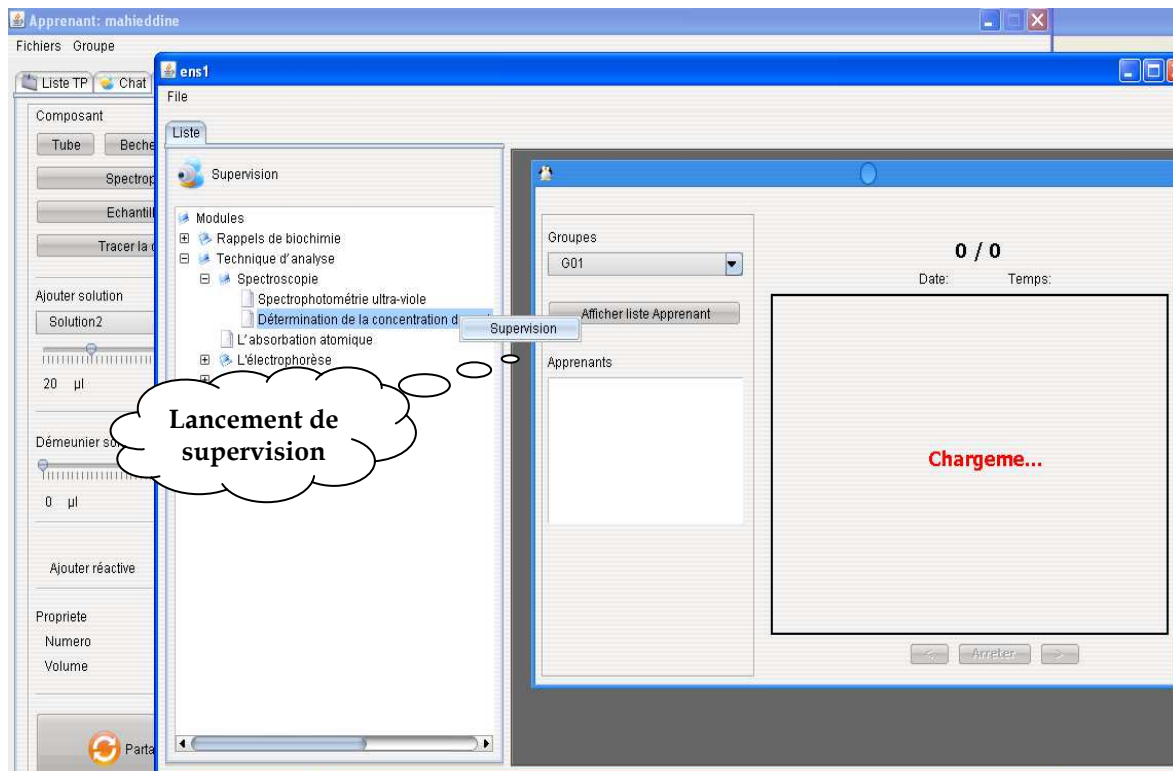


Figure 72. Lancement de la supervision

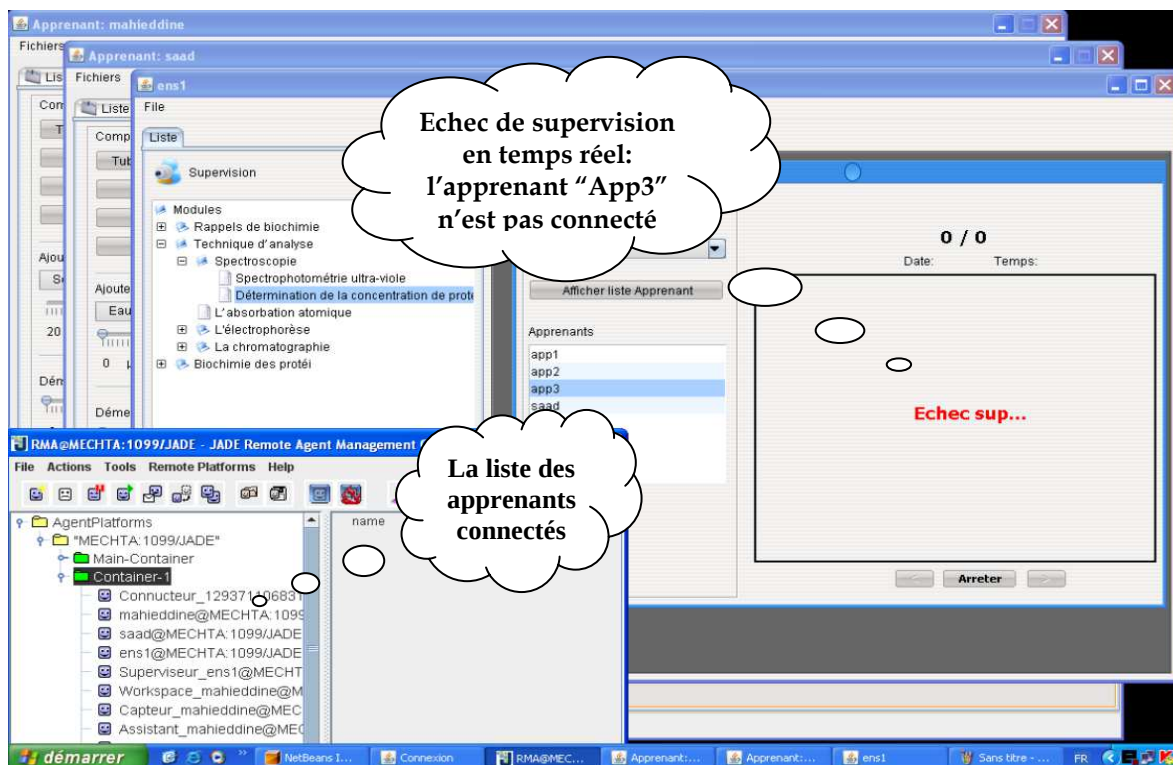


Figure 73. Cas d'échec de supervision

La figure 74 présente l'interface du tuteur « ens1 ». La partie gauche contient une arborescence des différents modules ainsi leurs Travaux pratiques. Une fois le tuteur choisit son propre module, il détermine le travail pratique qu'il veut suivre. Donc, la partie droite sera active et offre deux espaces dont l'un présente la liste des apprenants ainsi leur états(en ligne ou non) et l'autre présente les différentes scènes captées en temps réel de l'environnement de travail de l'apprenant concerné par la supervision. Ce dernier espace est réservé pour les images en cas de supervision en temps différé comme le montre la figure 75.

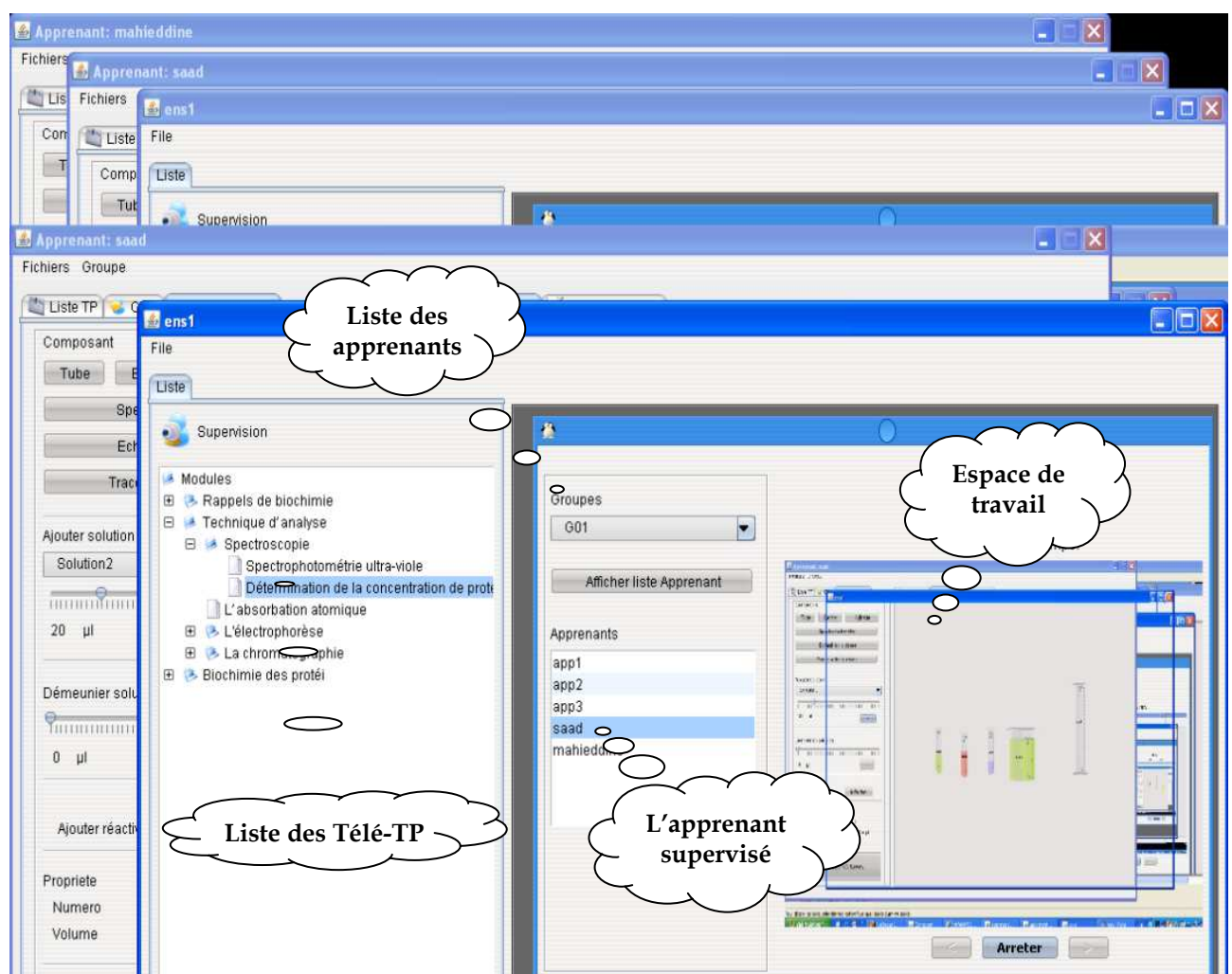


Figure 74. Supervision d'apprenant en temps réel

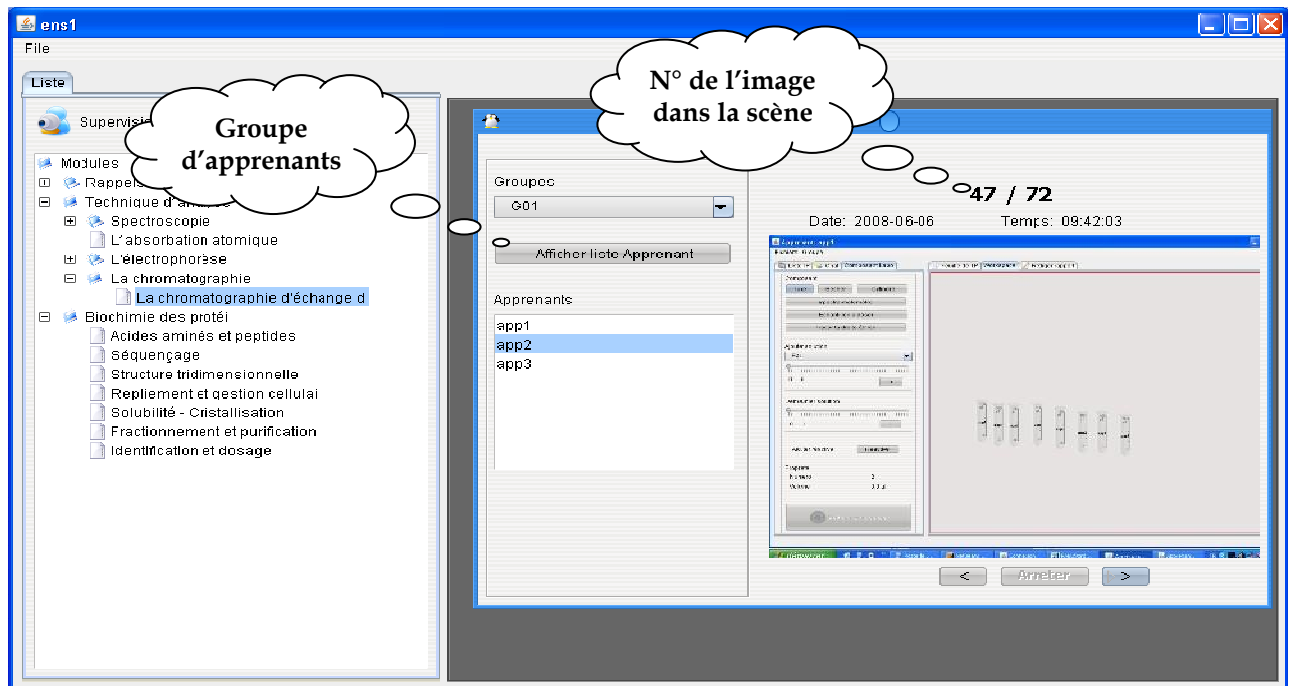


Figure 75. Supervision d'apprenant en temps différé

6.4.4 Système de collaboration

Durant la réalisation du Télé-TP, l'utilisateur apprenant peut communiquer avec les autres membres du même groupe et son tuteur via l'outil de Chat (voir figure 76, palette gauche) pour échanger des informations. C'est la collaboration contextuelle.

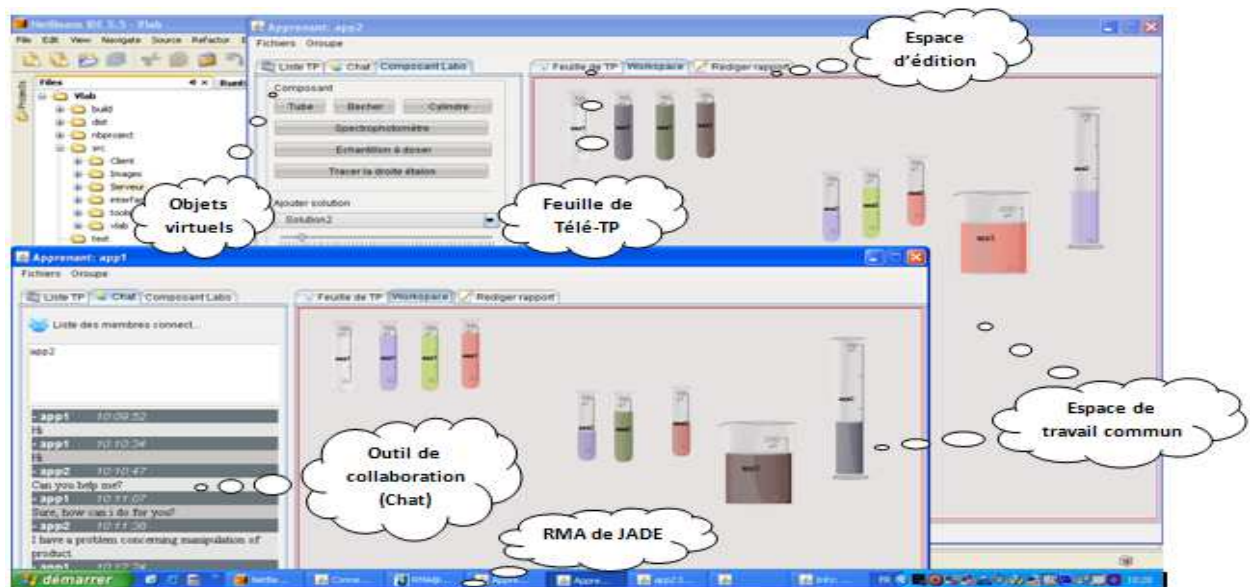


Figure 76. Espace commun de réalisation du Télé-TP

CVL@b offre aussi aux apprenants qui sont membres du même groupe la possibilité de partager leurs espaces de travail, les objets virtuels utilisés lors la télé-expérimentation ; il s'agit d'une collaboration virtuelle, et l'espace d'édition du compte rendu.

6.4.5 Outil d'assistance

L'enseignant peut tirer profit du système de supervision (Dans CVL@b, il s'agit de la supervision en temps réel) afin d'assister les apprenants en situation de blocage. L'outil asynchrone Chat permet de rétablir une communication entre eux où le tuteur répond et contrôle les activités en cours de réalisation par l'apprenant.

6.5 Système de gestion de contenu pédagogique (CVL@b- LCMS)

6.5.1 La feuille de Télé-TP (LCMS-PWS)

Un des buts qu'on s'était fixé au début de notre travail était la réalisation d'un prototype générique d'une feuille de Télé-TP intégrant le plus de fonctionnalités qui répondent aux besoins de l'enseignant. En apportant notre touche personnelle, on est arrivé à un résultat satisfaisant et opérationnel : une maquette générique, portable et offrant aux enseignants, et à l'apprenant un ensemble d'objets, ensemble des moyens d'actions et de facilités qui permettent à chacun d'accomplir son rôle.

Un éditeur (voir figure 77) est mis à la disposition des enseignants ; il permet la construction des nouvelles feuilles de Télé-TP, la modification, la consultation et la suppression. Pour l'ajout d'une nouvelle feuille de Télé-TP, l'enseignant a le choix entre d'écrire la totalité du contenu de l'énoncé ou de réutiliser des parties (théorèmes, équations, images, définitions, etc.) existantes.

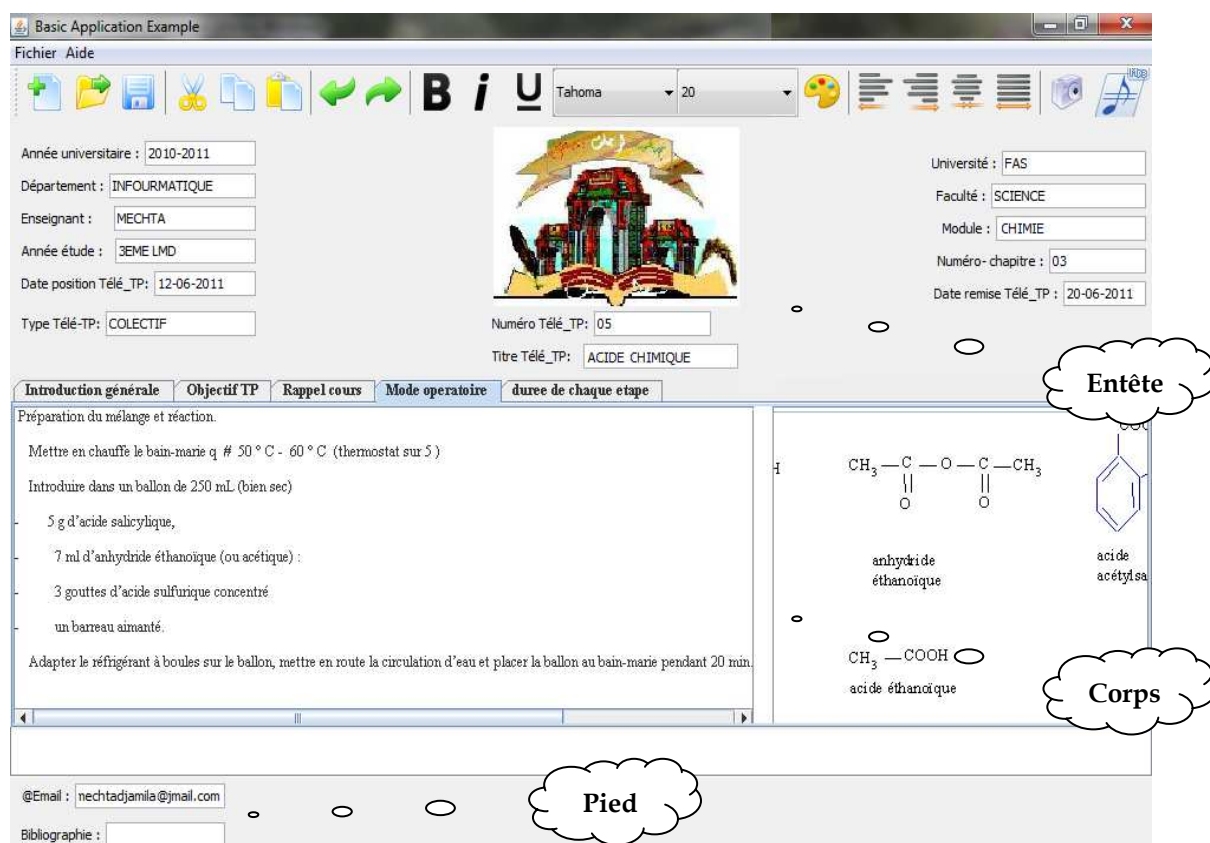


Figure 77. Editeur de la feuille de Télé-TP

6.5.2 La bibliothèque numérique (LCMS-EL)

L'implémentation de la bibliothèque électronique conçue dans le 4^{ème} chapitre est très bénéfique pour CVL@b, du fait que ses utilisateurs (apprenants ou même enseignants) vont se servir de l'ensemble des références créées soit dans la préparation des feuilles de Télé-TP pour l'enseignants constructeur de contenu pédagogique ou bien dans le cas d'ambigüité ou mal compréhension des énoncés de Télé-TP pour les apprenants.

Les figures suivantes (figure 78, figure 79 et figure 80) illustrent les types d'opérations effectuées sur cette bibliothèque électronique.

Document sans titre - Microsoft Internet Explorer

Fichier Edition Affichage Favoris Outils ?

Précédente Recherche Favoris

Adresse http://titanium/projet1/Ajouter_Article.php OK Liens

Ajouter un Article

Num

Thème

Conférence

Type

Année

Lieu

Mot_Clé

Résumé

Figure 78. Ajout d'un article

Member Account Deleted - Microsoft Internet Explorer

Fichier Edition Affichage Favoris Outils ?

Précédente Recherche Favoris

Adresse <http://titanium/projet1/recherche.php> OK Liens

La Bibliothèque Universitaire

Administration Inscription Recherche Présentation Accueil

Recherche Des Articles

Choisir le type d'article :

Choisir le type de recherche:

Entrer le mot à recherché:

Figure 79. Recherche des articles par « thèmes »



Figure 80. *Résultat de la recherche*

6.6 Conclusion

Nous avons décrit dans ce chapitre la mise en œuvre de la plateforme CVL@b destinée aux apprenants/enseignants engagés dans une activité d'apprentissage des travaux pratiques à distance. Cet environnement permet aux enseignants de superviser les groupes d'apprenants et aux apprenants de consulter et réaliser les travaux pratiques d'une manière coopérative/collaborative à distance.

Chapitre 7 : Protocole expérimental

7.1 Introduction

CVL@b est un laboratoire virtuel collaboratif pour la réalisation des Télé-TP. Sa conception a été basée sur l'analyse des laboratoires classiques. Afin de valider son efficacité dans une situation réelle, une évaluation a été menée avec des utilisateurs réels.

Dans ce chapitre, nous présentons tout d'abord la méthode choisie pour l'évaluation de CVL@b ainsi les paramètres à évaluer. Ensuite, nous décrivons l'expérimentation menée ainsi que les résultats obtenus. Nous finissons avec une discussion ainsi qu'avec une conclusion de cette évaluation.

7.2 Méthode d'évaluation

Dans la littérature, nous n'avons pas retrouvé de méthode standard d'évaluation des logiciels pédagogiques. Chaque évaluation doit être adaptée à chaque type d'outil et inclure les différents paramètres à évaluer, tels que les caractéristiques techniques, pédagogiques ou ergonomiques.

Nous décrivons dans ce qui suit les différents paramètres choisis pour notre évaluation.

7.3 Paramètres à évaluer

Pour l'évaluation de CVL@b, divers critères ont été pris en compte. Dans cette étude, les critères choisis permettront de valider la plate-forme tenant compte de la qualité d'apprentissage résultant de l'utilisation de ce système.

Nous décrivons ci-dessous les critères sélectionnés :

- Satisfaction : Il est important de savoir si l'utilisateur est globalement satisfait au moment d'employer CVL@b.
- Ergonomie : Elle permet d'évaluer l'interaction homme-machine d'un système informatique. Les critères pris en compte pour cette évaluation incluent la facilité d'utilisation, la convivialité et l'utilité du système. Puisque CVL@b est constitué d'un ensemble de systèmes, chaque système sera évalué de manière indépendante, en plus de l'appréciation globale.
- Utilisation des TIC : Savoir si l'utilisation des TIC pendant une activité de Télé-TP a un impact sur l'apprentissage est très intéressante. Dans notre cas, les aspects à prendre en compte sont l'utilisation de documents multimédia pour enrichir l'activité, la recherche des documents dans la BE, le partage d'information et des résultats.
- Collaboration/Coopération : Il est intéressant de mesurer le niveau de participation des utilisateurs. Ce facteur inclut la participation individuelle et la participation à l'apprentissage collectif. Cela signifie que l'apprenant a participé activement pendant le Télé-TP, qu'il a discuté du problème pratique avec ses collègues et qu'il leur a aidé pendant l'activité.
- Faisabilité : Un dernier facteur important à mesurer était l'opinion des utilisateurs sur la possibilité d'utiliser CVL@b pour remplacer les séances de TP en présentiels.

7.4 Expérimentation

7.4.1 Population

L'évaluation de CVL@b a été réalisée sur une période d'un mois. Globalement, la population ayant participé était constituée de 4 enseignants jouant les deux rôles enseignant/tuteur et 38 apprenants de la faculté de Nature & vie, faculté de Sciences et faculté de Technologie de l'Université Ferhat ABBES de Sétif (UFAS).

Sur les 46 questionnaires recueillis, 88,09% était des femmes et 11,91 % des hommes. Les apprenants qui ont participé se trouvaient en 1^{ère} année Master en Physiologie et pharmacologie, 1^{ière} et 2^{ème} année Biologie, 3^{ème} année Microbiologie et 2^{ème} année informatique.

La majorité des apprenants (2^{ème} année Biologie, Microbiologie, Physiologie et pharmacologie) avaient déjà participé aux TP traditionnel par contre ceux et celles des disciplines Informatique et 1^{ière} année Biologie ainsi les tuteurs ne l'avaient jamais.

La plupart des participants soit 56%, même s'ils avaient déjà travaillé avec des ordinateurs, presque leur moitié ne se sentaient pas très à l'aise de les utiliser (29%). Parmi les utilisateurs, 60.52% aiment utiliser les logiciels pédagogiques.

Tableau 3. *Expérience informatique des acteurs*

<i>Critère</i>	<i>Pas du tout</i> %	<i>Moyennement</i> %	<i>Beaucoup</i> %	<i>Tout à fait</i> %
A l'aise pour utiliser un ordinateur	5.26	28.95	18.42	47.37
Utiliser des logiciels pédagogiques	13.16	26.32	23.68	36.84

<i>Critère</i>	<i>Moins de 2 ans</i> %	<i>2 à 3 ans</i> %	<i>Plus de 3 ans</i> %
Expérience informatique	31.58	13.16	55.26

7.4.2 Conditions d'expérimentation

7.4.2.1 Structuration des groupes

Les groupes ont été constitués et coordonnés par les 4 tuteurs. La taille du groupe a été 2 à 3 apprenants ; 10 groupes contenant 2 apprenants et 6 groupes contenant 3 apprenants. Les tuteurs ayant eu l'expérience de formation en groupe mais ne sont pas spécialiste en biopharmacie et malgré ça, ils connaissent les étapes du Télé-TP à réaliser. Les participants (apprenants/enseignants) n'ont jamais participé à une expérience à distance.

7.4.2.2 Situation pédagogique (tuteur versus apprenant)

Les situations pédagogiques décrivent la dispersion géographique/temporelles des apprenants et des tuteurs. Les différentes situations qu'on a respectées sont résumées dans le tableau 3.

Tableau 4. *Situations pédagogiques dans CVL@b*

Situation	Apprenant/ Apprenant	Tuteur/ Apprenant
Situation 1	P	D
Situation 2	D	P
Situation 3	D	D

P : signifie présentiel D : signifie distantiel

7.4.2.3 Le scénario pédagogique

La discipline Biochimie (Mechta, Harous, Djoudi, Douar, 2010) a répondu aux critères cités dans notre démarche par la nature de ses TP qui sont dans tous les cas concrets et non des phénomènes abstraits et qui ont un degré d'interactivité très élevé ; les apprenants collaborent entre eux dans la réalisation des tâches du TP.

Le scénario pédagogique qu'on a pris dans l'évaluation de CVL@b a pour objectif de déterminer la concentration d'une solution d'une protéine donnée. Pour cela, le Télé-

TP nécessite deux phases parallèles l'une s'appelle la gamme étalon et l'autre l'échantillon à doser.

Chaque phase est composée de plusieurs étapes qui nécessitent une solution de concentration connue d'une protéine considérée comme une référence ou un standard par rapport à la protéine dont on veut déterminer sa concentration et une solution de réactif utilisée pour développer une coloration en réagissant avec des acides aminés spécifiques de ces protéines.

- La gamme étalon permet de tracer une droite étalon : $\text{absorbance} = f(\text{quantité})$ par l'utilisation d'une série de tubes qui contiennent un volume d'eau identique mais des quantités croissantes et connues de la protéine de référence.
- En parallèle; une série de tubes, contenant différents volumes de prise d'essai de la protéine dont on veut déterminer la concentration (l'échantillon à doser) est préparée.
- La solution de réactif est ajoutée au même moment dans tous les tubes afin que la coloration se développe dans les mêmes conditions pour la gamme étalon et l'échantillon à doser.
- L'absorbance de tous les tubes est ensuite mesurée. La proportionnalité $\text{absorbance}/\text{Quantité}$ permet de déterminer la quantité de protéine contenue dans un volume de prise d'essai de l'échantillon à doser. On en déduit alors la concentration de la protéine à doser.

L'aspect de collaboration/coopération est l'une des caractéristiques principales du Télé-TP étudié. En premier lieu, les apprenants du même groupe se coopèrent dans la réalisation du Télé-TP; chaque apprenant se charge individuellement d'exécuter les différentes étapes de la phase affectée (Gamme étalon ou Echantillon à doser). Après la réalisation des deux phases, les apprenants, d'une façon collaborative, procèdent à la combinaison des résultats intermédiaires pour rédiger le compte rendu du Télé-TP qui

sera envoyé à l'enseignant pour une éventuelle évaluation. Les points de coopération/collaboration de ce Télé-TP sont illustrés par la figure 81.

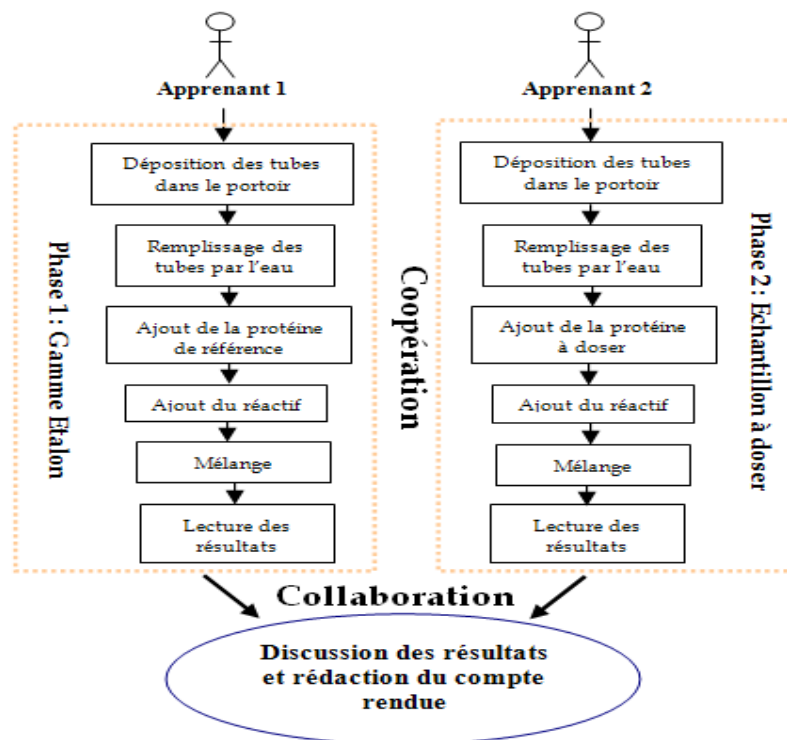


Figure 81. Points de coopération/collaboration

7.4.2.4 Le matériel utilisé

L'expérience s'est déroulée dans une salle informatique en présence de l'ensemble d'apprenants. Elle est équipée avec 15 PC reliés entre eux par un réseau local et une liaison Internet. En raison des problèmes électriques et les pannes que subissent les PC ainsi la non disponibilité des apprenants au même temps, et chaque apprenant devant un ordinateur, l'expérience a pris une longue durée. Les résultats sont présentés ci-dessous.

7.4.3 Instrument d'évaluation

Nous avons utilisé le questionnaire comme moyen d'évaluation pour recueillir les réponses des utilisateurs.

Un questionnaire a été conçu pour chacun des acteurs de CVL@b qui sont les enseignants constructeurs de contenus pédagogiques, les tuteurs et enfin les apprenants.

7.4.4 La fiabilité du questionnaire

Pour calculer la fiabilité de notre questionnaire nous avons pris le test de « Alpha de Cronbach ». D'après le tableau 5, on remarque qu'il existe une harmonie entre les différents items du questionnaire et donc, sa fiabilité est très bonne.

Tableau 5. *Statistiques de fiabilité*

Alpha de Cronbach	Nombre d'éléments
,908	34

7.5 Résultats

L'outil de communication utilisé a été jugé très utile (71.5%) et très facile à utiliser (93%) par les membres des groupes ainsi que les tuteurs. La plupart des utilisateurs considèrent que son interface est conviviale (76.5%).

Tableau 6. *Évaluation de l'outil de communication*

<i>Critère</i>	<i>Pas du tout</i> %	<i>Moyennement</i> %	<i>Beaucoup</i> %	<i>Tout à fait</i> %
Facilité d'utilisation	7	-	26.5	66.5
Utilité	2.5	26	21	50.5
Convivialité	2.5	21	15.5	61

Lors de ce Télé-TP, 78.9% des apprenants ont communiqué avec leurs tuteurs. Les fonctionnalités du tuteur (Soutien 100%, contrôle 50% et savoir l'état d'avancement 100%) sont assurées complètement comme le montre le tableau 6.

Tableau 7. *Evaluation du système de supervision & contrôle*

<i>Critère</i>	<i>Pas du tout %</i>	<i>Moyennement %</i>	<i>Beaucoup %</i>	<i>Tout à fait %</i>
Communication avec le tuteur	5.3	15.8	18.4	60.5
Être guidé par le tuteur	2.6	10.5	39.5	47.4
Sentir la présence du tuteur	-	15.8	36.8	47.4
Soutenir le groupe d'apprenant	-	-	75	25
Contrôler le groupe d'apprenant	-	50	25	25
Savoir l'état d'avancement des activités du groupe	-	-	-	100

Le niveau de collaboration (voir Tableau 8) a été jugé important soit collaboration textuelle dans la clarification de l'énoncé du Télé-TP(76.3%), discussion des résultats (84.2%) et rédaction du compte rendu (79%) ou bien collaboration virtuelle (68.9%) moyennant l'espace partagé.

Tableau 8. *Evaluation du système de collaboration*

<i>Critère</i>	<i>Pas du tout %</i>	<i>Moyennement %</i>	<i>Beaucoup %</i>	<i>Tout à fait %</i>
Aidé mes collègues à clarifier l'énoncé du Télé-TP	2.6	21.1	28.9	47.4
Aidé mes collègues dans la manipulation	2.6	13.2	34.2	50
Discuté avec mes collègues/tuteur les résultats obtenus	2.6	13.2	34.2	50
Rédigé le compte rendu avec mes collègues	7.9	13.2	23.7	55.3
Partagé l'espace de travail	2.6	18.4	28.9	50
Senti que mes collègues sont présents dans mon endroit	7.9	2.6	31.6	57.9

L'espace de l'expérimentation a été jugé très facile à utiliser par 73.4%, convivial par 73.8% et offre un ensemble d'objets virtuels nécessaires pour la réalisation d'un Télé-TP.

Tableau 9. *Evaluation de l'espace de travail*

<i>Critère</i>	<i>Pas du tout</i> %	<i>Moyennement</i> %	<i>Beaucoup</i> %	<i>Tout à fait</i> %
Facilité d'utilisation	4.73	11.9	18.94	64.5
Convivialité	4.73	19.34	30.92	45
Offre les outils nécessaires pour un Télé-TP	2.36	19	23.95	54.6

Les enseignants ainsi les tuteurs considèrent que le prototype conçu est générique et ses informations sont bien structurées. L'éditeur dédié est jugé facile à l'utilisation, utile et son interface est un peu conviviale.

Tableau 10. *Evaluation du prototype (PWS)*

<i>Critère</i>	<i>Pas du tout</i> %	<i>Moyennement</i> %	<i>Beaucoup</i> %	<i>Tout à fait</i> %
Facile d'utilisation	-	50	50	-
Utilité	-	-	100	-
Convivialité	-	75	25	-
Complet	-	100	-	-
Généricité	-	25	50	25
Structuration	7.3	21.4	28.6	42.7

La présence d'une bibliothèque électronique est importante. Son interface était perçue comme très conviviale (71%). Les fonctionnalités de visualisation ainsi la recherche des documents constituaient une valeur ajoutée par rapport aux TP classiques.

Tableau 11. *Evaluation du fond documentaire (BE)*

<i>Critère</i>	<i>Pas du tout</i> %	<i>Moyennement</i> %	<i>Beaucoup</i> %	<i>Tout à fait</i> %
Convivialité	5.3	23.7	21	50
Visualisation des documents	4.8	33.5	33.2	28.5
Recherche des documents	7	26	28.5	38.5

7.6 Discussions

Lors de cette évaluation, CVL@b a été jugé comme étant satisfaisant. Les participants le trouvent facile à utiliser, utile et convivial. La totalité estimait que CVL@b pouvait être utilisé pour remplacer un laboratoire traditionnel néant moins la qualité d'apprentissage restera limitée comme le montre le tableau 12 et la figure 82.

Tableau 12. *Évaluation globale de CVL@b*

<i>Critère</i>	<i>Pas du tout</i> %	<i>Moyennement</i> %	<i>Beaucoup</i> %	<i>Tout à fait</i> %
Facilité d'utilisation	2.17	2.17	34.8	60.86
Utilité	4.51	23.9	54.22	17.37
Convivialité	10.9	39	21.85	28.25
Satisfaction	6.5	34.73	17.42	41.35
Remplace le labo réel	2.6	18.4	21.1	57.9
Qualité d'apprentissage	28.9	42	23.8	5.3

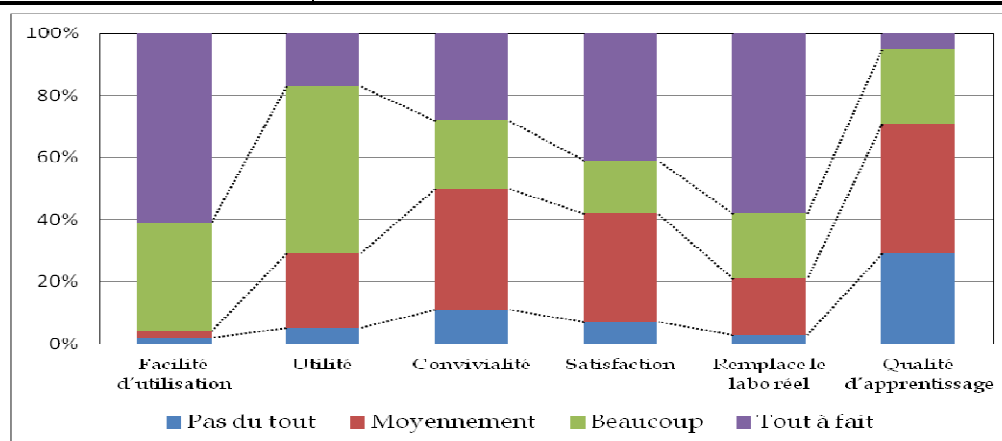


Figure 82. *Résultats globaux de CVL@b*

Dans l'ensemble, CVL@b a été bien accepté par les utilisateurs. Il a permis aux apprenant d'exploiter toutes les fonctionnalités afin de bien réaliser leur Télé-TP et aux tuteurs de les suivre et les soutenir par l'outil de supervision.

Faisabilité : selon l'opinion des participants à l'évaluation, CVL@b est adapté pour réaliser des séances de Télé-TP. Les apprenants ont pu facilement réaliser les étapes d'une expérience à distance et les tuteurs ont bien géré les séances à distance.

Satisfaction : 58.77% des participants ont été satisfaits d'utiliser cet environnement virtuel.

Ergonomie : globalement, CVL@b est jugé utile par 71.59%, convivial par 50% et facile à utiliser par 95.66%. Tous les systèmes tels que celui de communication et l'espace de travail ont obtenu des valeurs remarquables à niveau ergonomique.

Collaboration : le niveau de collaboration entre apprenants a été jugé très positif.

7.7 Conclusion

Nous avons testé CVL@b dans un contexte réel. Les apprenants ainsi les enseignants/tuteurs nous ont donné leurs impressions sur les différents systèmes qui composent CVL@b ainsi que leur avis général sur le système complet. Dans cette expérience, CVL@b a été bien apprécié et il répond aux activités de travaux pratiques à distance. Les résultats ont été très satisfaisants et nous ont permis de confirmer que notre conception était bien adaptée aux Télé-TP et par conséquent de valider cette plateforme.

Conclusion générale et perspectives

Bilan des travaux et apports de la thèse

L'objectif était de comprendre les concepts de l'approche par action, les Télé-TP, collaboration, soutien et contrôle d'activités afin de concevoir une plate-forme de type laboratoire virtuel collaboratif. Les travaux antérieurs ont permis dans un premier temps de révéler un certain nombre de problèmes liés à la conception des outils informatiques pour la simulation, collaboration et supervision. Partant du constat que les laboratoires virtuels ne répondent pas aux exigences des apprenants/enseignants en termes d'outils pour la collaboration et la supervision, l'objectif était de faire émerger des recommandations et directrices pour leur conception.

Dans ce travail, nous avons abordé le premier chapitre qui porte sur des concepts liées à la télé-formation. Le premier axe porte sur les EIAH et leurs apports dans l'apprentissage. Après, nous avons présenté une forme spécifique d'apprentissage ; il s'agit des Télé-TP où on a expliqué tous les avantages de ce type d'apprentissage. Ensuite, nous avons traité le sujet des laboratoires et ses différents types (traditionnel, réel à distance et virtuel) en se concentrant sur les laboratoires virtuels.

Après l'étude des méthodes et les activités pédagogiques, nous avons entamé la conception de notre système pour l'exploration des connaissances pratiques chez l'apprenant. Nous avons opté pour une architecture multi-agents pour développer notre système afin de bénéficier des avantages qu'offrent les paradigmes agents précisément pour la réalisation d'applications distribuées. Le chapitre trois, tournait autour des phases d'analyse, conception et spécification des besoins de CVL@b.

Sur le plan pédagogique, nous avons proposé un modèle organisationnel structurel s'appuyant sur trois acteurs, l'enseignant qui met en place les feuilles de Télé-TP, les apprenants qui réalisent l'activité des Télé-TP et le tuteur qui assure leur soutien et contrôle. Sur le plan conceptuel, nous avons opté pour une architecture multi-agents où nous avons proposé une société d'agents décrivant leurs rôles et leurs relations dans notre environnement. Dès lors, nous avons déterminé les spécifications des environnements et leurs outils. Une évaluation de CVL@b est mise en place afin de mesurer le degré de satisfaction de ses utilisateurs ainsi sa faisabilité.

Les contributions apportées par ce travail de thèse sont résumées dans ce qui suit :

- o Proposition d'un modèle d'un laboratoire virtuel collaboratif : CVL@b (Mechta, Harous, Djoudi, Douar, 2007a ; Harous, Mechta, Djoudi, Douar, 2008) en faisant séparation entre le contenus pédagogiques (LCMS) et le contenant (LMS) pour permettre toute évolutivité.
- o Conception et réalisation d'un prototype d'une feuille de Télé-TP (LCMS-PWS) (Mechta, Harous, Djoudi, Douar, 2007b) ainsi celui d'une bibliothèque électronique (LCMS-EL) (Harous, Mechta, Djoudi, 2006).
- o Réalisation d'un système de collaboration :
 - Outils de communication: on a réalisé un outil synchrone « Chat » qui permet la communication entre les différents utilisateurs (apprenant, enseignant et administrateur) et un outil asynchrone (messagerie électronique) (Harous, Mechta, Djoudi, Douar, 2008).
 - Espace de travail commun: on a conçu et réalisé un espace de réalisation de Télé-TP partageable. La synchronisation dans cet espace est assurée par le système de collaboration ; chaque mouvement ou opération effectué dans un espace de travail d'un apprenant quelconque est synchronisé avec tous les espaces partagés des membres du groupe.

- Un éditeur partagé pour la rédaction du compte rendu.
- o Réalisation d'un système de supervision (Mechta, Harous, Djoudi, Douar, Belmahdi, 2011) permettant à un tuteur d'assurer une supervision et contrôle pédagogiques. Ce système supporte les interventions du tuteur auprès des apprenants et lui permet de percevoir l'activité des apprenants distants en temps réel afin de répondre à leurs requêtes ou de prendre une décision d'intervenir auprès d'eux. Notre système s'articule autour des fonctionnalités suivantes (Mechta, Harous, Djoudi, Douar, 2012):
 - La perception de l'activité de l'apprenant distant; elle inclut la consultation des actions, des productions ainsi le parcours de l'apprenant.
 - Le soutien à l'apprenant; il porte sur la communication synchrone, le partage de l'espace de travail et la collaboration intra-groupe.
- o L'évaluation dans CVL@b se base sur les comptes rendus rédigés par les apprenants ainsi les sorties du système de supervision.
- o Réalisation d'une instance de CVL@b qui porte sur un Télé-TP de biochimie (Mechta, Harous, Djoudi, Douar, 2010).
- o Expérimentation de CVL@b.

Intérêt du projet

L'intérêt du projet était de mettre en œuvre un prototype générique d'un laboratoire virtuel pour les Télé-TP collaboratifs. Ce laboratoire offre deux espaces dont l'un pour l'apprenant et l'autre pour l'enseignant. L'espace apprenant offre la possibilité de réaliser des travaux pratiques à distance d'une façon individuelle ou collaborative. L'espace enseignant permet d'éditer les feuilles de Télé-TP, soutenir les groupes d'apprenants et contrôler leurs activités.

Conclusion

Dans cette thèse, nous avons présenté la plateforme CVL@b pour la Télé-expérimentation sur le Web. Il s'agit d'un environnement distribué caractérisé par la présence des aspects de collaboration/coopération. Il permet aux apprenants de mieux expérimenter leurs travaux pratiques à distance. Son architecture reflète d'une façon plus au moins fidèle l'architecture d'un laboratoire conventionnel.

En conclusion, il n'ya pas de réponse simple à ce dilemme : qui est le meilleur laboratoire pour les apprenants? Tous les types de laboratoires offrent des avantages certains. Un laboratoire virtuel se distingue d'un laboratoire classique. Cependant, il n'est pas conçu comme un substitut ou un concurrent de lui. En revanche, les LV peuvent être des extensions des laboratoires classiques et ouvrent de nouvelles opportunités qui ne peuvent se réaliser entièrement au sein dans ces derniers un coût abordable.

Perspectives

Les difficultés rencontrées ainsi que les limites de la portée de nos contributions sont : la réalisation de l'expérimentation avec un seul scénario pédagogique, un nombre limité de participants et l'intégration totale du CVL@b sur le Web (voir Annexe1).

Les pistes qui peuvent être envisagées à long terme :

- Le recours vers la réalité virtuelle et les interfaces 3D : dans un laboratoire virtuel où l'apprenant est délivré à lui-même, il est nécessaire de modéliser l'environnement de travail de telle sorte qu'il se sente dans une situation présentielle. Une telle modélisation nécessite l'utilisation des techniques de la réalité virtuelle en vue de simuler, dans un monde virtuel, le comportement des entités 3D pour un Télé-TP. Cet environnement permet l'interaction entre les objets virtuels et l'immersion de l'apprenant dans ce monde.

- Outil d'évaluation : toute activité dans les laboratoires virtuels nécessite une évaluation soit formative ; il s'agit d'une régulation de l'apprentissage où l'enseignant renseigne l'apprenant sur la distance qui le sépare de l'objectif du Télé-TP ainsi les difficultés qu'il rencontre, soit sommative ; ce type est centrée sur les résultats obtenus après réalisation du Télé-TP.
- Développement de CRL@b (Collaborative Remote L@boratory) : proposer une architecture de CRL@b en détaillant ces systèmes de « Commande » et « Opérateur ».

Bibliographie

- Albu, Holbert, Heydt, Grigorescu, Trusca. (2004). Embedding remote experimentation in power engineering education. *IEEE Trans. Power Syst.* 19, 1, 139-143.
- Alexiou, A., Bouras, C., Giannaka, E. (2004). Virtual Laboratories In Education: A cheap way for schools to obtain laboratories for all courses by using the Computer Laboratory. 18th IFIP WCC – Workshop Tel’04, Technology Enhanced Learning, Toulouse, France, 22-27 Aug, pp. 19-28.
- Alexiou, A., Bouras, C., Giannaka, E. (2005). VirRAD European project, Project No: IST-2001-32391.
- Allwood, J., Traum, D., & Jokinen, K. (2000). Cooperation, Dialogue and Ethics. *International Journal of Human-Computer Studies* , 53, 871-914.
- Anderson, E. (2001). Incorporating laboratory simulations into non laboratory courses. *International Conference on Engineering Education (ICEE)*, 6-10 Août, Oslo, Norvège, pp. 6B1-5 à 6B1-10.
- Auer, M. E. (2000). Virtual Lab versus Remote Lab. Carinthia Tech Institute – School of Electronics.
- Azzi, R. (1995). Environnement de développement de simulateurs pédagogiques de procédés industriels. Thèse de doctorat en informatique. Lyon: INSA de Lyon, 1995, 212 p.
- Bastien, J. M. C., & Scapin, D., L. (1993). *Ergonomic Criteria for the Evaluation of Human-Computer Interfaces*. Rocquencourt: INRIA.
- Baudouin, C. (2007). Un Environnement Virtuel d’Apprentissage Humain pour les Travaux Pratiques : la Paillasse Virtuelle Cerv : Centre Européen de Réalité Virtuelle ea3883 – LISYC Laboratoire d’Informatique des SYstèmes Complexes 13 juin 2007.

- Bayard, B., Sauviac, B., Fayolle, J., Allard, B., Noyel, G. (2002). *Projet Web Analyser Internet et l'instrumentation à distance. Symposium Technologies de l'Information et de la Communication dans les Enseignements des ingénieurs et dans l'industrie (TICE)*. 13-15 novembre, Lyon, France, pp 415-416.
- Behaz, A. Merzougui, G. Djoudi, M. (2005). *Approche de production de documents pédagogiques multimédias multi-formats. Congrès international en informatique appliquée, CIIA'05, Bordj Bou Arréridj, Algérie, 19-21 Novembre*.
- Benadi, M.D. (2003). *Construction d'environnements de télé-expérimentation. DEA Informatique et systèmes coopératifs pour l'entreprise. Lyon : INSA de Lyon, 30p*.
- Benmohamed, H. (2007). *ICTT@Lab: un environnement informatique pour la génération et l'exécution de scénarios de Télé-TP. Thèse de doctorat en Informatique (INSA, Lyon), N° d'ordre 2007, ISAL-0011*.
- Bicchi, A., Coppelli, A., Quarto, F., Rizzo, L., Turchit, F., Balestrinot, A. (2001). *Breaking the Lab's Walls Tele-Laboratories at the University of Pisa. IEEE International Conference on Robotics & Automation, 21-26 Mai, Séoul, Corée, pp. 1903-1908*.
- Blackwell, Gerry. (1997). "Virtual Reality on the Net". *Internet World*, Oct. 1997, vol. 8, no. 10, pp. 40-41.
- Bouabid, M. & Salmi-Bouabid, L. (2005). *Travaux pratiques pour les dispositifs de formations scientifiques et techniques utilisant les TICs. CEMAFORAD-2. Université de Bejaia : 12,13 et 14 Novembre. Page 138-146*.
- Breton, L., Zucker, J-D., Clément, E. (1999). *Une approche multi-agents pour la résolution d'équations en physique des milieux granulaires. JFIADSMA'99*.
- Bruillard, E. (1997). *Les machines à enseigner. Paris, France : Hermès, 319 p. ISBN 2-86601-610-6*.
- Bruillard, E., Delozanne, E., Ieroux, P., Delannoy, P., Dubourg, X., Jacoboni, P., Lehuen, J., Luzzati, D., Teutsch, P. (2000). *Quinze ans de recherche informatique sur les sciences et techniques éducatives au LIUM. Revue Sciences et Techniques Educatives, vol 7, pp. 87-145*.

- Buitrago, G. C. (1999). Simulations et Contrôle Pédagogique : Architectures Logicielles Réutilisables. Thèse de doctorat en informatique. Grenoble: Université Joseph Fourier - Grenoble I, 269p.
- Canfora, G., Daponte, P., and Rapuano, S. (2004). Remotely accessible laboratory for electronic measurement teaching. *Comput. Standards and Interfaces* 26, 6, 489–499.
- Canizares, C. A., Faur, Z. T. (1997). Advantages and disadvantages of using various computer tools in electrical engineering courses. *IEEE Trans. Education* 40, 3, 166–171.
- Chang, T., Jaroonsiriphan, P., and Sun, X. (2002). Integrating nanotechnology into undergraduate experience: a web-based approach. *International Journal of Engineering Education*, 18(5), 557–565.
- Chasseneuil, C.D. (2000). Formations Ouvertes et à Distance. L'accompagnement pédagogique et organisationnel. Conférence de consensus, 27-29 Mars. Disponible sur : <http://www.algora.org/kiosque/actu/consensus/ccfod.pdf>.
- Clough, M. P. (2002). Using the laboratory to enhance student learning. In *Learning Science and the Science of Learning*, R. W. Bybee, Ed. National Science Teachers Association, Washington, DC, 85–97.
- Choplin H., Degrugillier D., Galisson A., Morin S., 2000. Comment réaliser un simulateur pédagogique ? Un exemple conçu et développé par le Groupe des Ecoles des Télécommunications, 2000 TICE (Technologies of Information and Communication in Education for engineering and industry), Colloque international, UTT, Troyes, octobre 2000.
- Cooper, M., Scanlon, E., Freake, S. L. (2000). Remote Controlled Teaching Experiments, in *Science and Engineering Subjects, Accessible over the World-Wide-Web - The PEARL project*, Proc. EDMEDIA 2000 Conference, Montreal, Quebec, Canada.
- Cooper, M., Donnelly, A., Ferreira, J. (2002). Remote controlled experiments for teaching over the Internet: A comparaison of approaches developed in the PEARL project, ASCILITE'02 conference proceedings.
- Conallen, J. (2000). Concevoir des applications WEB avec UML. Eyrolles edition.

- DeLoach, S. A., Wood, M. F., Sparkman, C. H. (2001). Multiagent Systems EGINEERING. International Journal on Software Engineering and Knowledge Engineering, Vol. 11, N° 3, pp. 231-258.
- Deniz, D.Z., Bulancak, A., özcan, G. (2003). A novel approach to remote laboratories. 33d ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, 5-8 Novembre, Boulder, CO, pp. T3E8-T3E12.
- Deshoullières, B. Djoudi, M. (2005). IPinfo, un environnement informatisé pour les formations à la maîtrise de l'information : Etude d'usage. World Library and Information Congress: 71th IFLA General Conference and Council, August 14th - 18th, Oslo, Norway.
- Dèspres, C. (2001). Modélisation et conception d'un environnement de suivi pédagogique synchrone d'activités d'apprentissage à distance. Thèse de doctorat en informatique. Le Mans : Université du Maine, 286p.
- Educnet. Cité dans Educnet : le site du ministère de l'éducation, de l'enseignement supérieur et de la recherche dédié à la généralisation de l'usage des technologies de l'information et de la communication dan l'éducation (TICE). <http://www.educnet.education.fr/superieur/glossaire.htm> (Consulté en 2011).
- Fakas G., A. Nguyen, D. Gillet, A Collaborative and Cooperative Learning Environment for Web-Based Experimentation, Computer Supported Cooperative Work, Volume 14, Number 3 / June, 2005, Springer Netherlands.
- Falzon P. & Teiger C., (1999). Ergonomie et formation. In CARRE P. & CASPAR P. Eds. Traité des sciences et des techniques de la formation. pp. 145-162, DUNOD.
- Ferber, J., (1995). Les systèmes multi-agents. iia, Ed. (Paris, ed. InterEditions).
- Faerber, R., (2002). Le groupe d'apprentissage en formation à distance : ses caractéristiques dans un environnement virtuel. In: Larose F & Karsenti T. (CRP Editions), pp. 99-128. Sherbrooke University.
- Froitzheim, K. (1997). Multimedia-Kommunikation, Universität de Heidelberg.
- George, C. (1989). Apprendre par l'Action. Editions PUF, 1989, 236 pages.

- Gerval, J-P., Le Ru, Y. (2006). VELab : A Virtual Lab for Electronic Virtual Experiments, Advanced Technology for Learning, Volume 3-Issue 2, ACTA Press.
- Gibaud, O. (1993). Contribution au Concept de Micro-Monde pour l'Enseignement Assisté par Ordinateur. Thèse de doctorat en ingénierie informatique. Lyon: École centrale de Lyon. Page 402.
- Girault, I., D'ham, C., Caix-Cecillon, C., Bettega, H. (2003). Apprentissages en chimie par des expérimentations pilotées à distance. Conférence Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH). 15-17 Avril, Strasbourg, France.
- Goupil G. (1998). Portfolio et dossiers d'apprentissage. Mc Graw Hill.
- Grant, A. (1995). The effective use of laboratories in undergraduate courses. International Journal of Mechanical Engennering Education, 23- 2. pp. 95-101.
- Guimarães, E., Maffeis, A., Pereira, J., Russo, B., Cardozo, E., Bergerman, M., Magalhães, M. F. (2003). REAL : A Virtual Laboratory for Mobile Robot Experiments. IEEE Transactions on education, vol. 46, n° 1, pp. 37-42.
- Saliah-Hassan, H. (2011). Laboratoires en ligne. http://profetic.org/dossiers/article.php3?id_article=907. (Consulté en 2011).
- Harous S., Mechta, D., Djoudi, M. (2006). Documentation Tool: An Object oriented Model for Electronic Library Management, IEEE'06- The 2006 International Conference on e-Learning, e-Business, Enterprise Information Systems, e-Government, and Outsourcing, Las Vegas, Nevada (USA), June 26-29.
- Harous, S., Mechta, D., Djoudi, M. and Douar, A. (2006). A Multi-Agents System to Support a Virtual Laboratory. IIWAS2006-the Eighth International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services, Yogyakarta, Indonesia, ISBN 3-85403-214-5, 04- 06-12.
- Harous, S. Douar, A. Djoudi, M. Mechta, D. (2006). Design of Ergonomic Interfaces, the International Workshop on Trustworthy Ubiquitous Computing, pp 413-419, Yogyakarta (Indonesia), Dec. 4-6.

- Harous, S., Mechta, D., Djoudi, M. and Douar, A. (2008). An Agent-Based Approach for Designing and implementing a Virtual Laboratory, *International Journal of Mathematics and Computer Science (IJMCS)*, 3(2008), no. 2, ISSN : 1814-0424 2008, <http://ijmcs.future-in-tech.net>
- Hoc, J.-M. (1996). *Supervision et Contrôle de Processus*, Grenoble, P.U.G.
- Hoc, J. M. (2003). *Coopération humaine et systèmes coopératifs*. (G. Boy, Éd.) *IHM et cognition*, 139-187.
- Huffman, T., Muller, D. (1993). *Techniques de compression des signaux vidéo pour la communication multimédia*. *Revue des télécommunications*, 4ième édition.
- James, P. V. (1999). *Report of the Expert Meeting on Virtual Laboratories*. Organized by the International Institute of Theoretical and Applied Physics (IITAP), Ames, Iowa 10-12 May, with support of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Keegan, D. (1996). *Foundations of Distance Education*. *Routledge Studies in Distance Education*, 224p.
- Lawenda, M., Meyer, N., Stroinski, M., Gdaniec, Z. et Adamiak, R. W. (2003). Remote access to NMR Spectrometer using the virtual laboratory. *The Bruker users meeting*. Poland, 22-23 September.
- Lelevé, A., Meyer, C., Prévôt, P. (2002). *Télé-TP : Premiers pas vers une modélisation*. 3ème colloque international sur les Technologies de l'Information et de la Connaissance dans l'Enseignement supérieur et l'industrie (TICE 2002). Lyon, France, 11-13 Novembre.
- Levert, C., Pierre, S. (2000). *Towards a design methodology for distributed virtual laboratories*. In *proceeding of World Conference on Educationnal Multimedia, Hypermedia and telecommunications*, 592-597.
- Ma, J., Nickerson, J.V. (2006). *Hands-On, Simulated, and Remote Laboratories: A Comparative Literature Review* *ACM Computing Surveys*, Vol. 38, No. 3, Article 7, Publication date: September.

- Magin, D. J., Churches, A. E., and Reizes, J. A. (1986). Design and experimentation in undergraduate mechanical engineering. In Proceedings of a Conference on Teaching Engineering Designers. Sydney, Australia. Institution of Engineers, 96-100.
- Mbala-Hikolo, A. (2003). Analyse, conception, spécification et développement d'un système multi-agents pour le soutien des activités en formation à distance. Thèse de doctorat en automatique et en informatique. Université de Franche-Comté, 302p.
- Mechta, D., Djoudi, M., Harous, S., Douar, A. (2006). Laboratoire virtuel de Télé-TP sur Internet. Journées d'étude sur les TIC, JeTIC2006, Bechar (Algérie), 15-16 Avril.
- Mechta, D., Harous, S., Djoudi, M., Douar, A. (2006). Conception d'un système multi-agents pour le soutien des Télé-TP sur Internet dans un laboratoire virtuel. CIIA'06-Conférence International sur l'Informatique et ses applications, CUS-SAIDA, Algérie, 15-16 mai.
- Mechta, D., Djoudi, M., Harous, S., Douar, A. (2007a). An Agent-Based Approach for Designing and implementing a Virtual Laboratory. Innovations'07- 4th International Conference on Innovations in Information Technology, Dubai (United Arab Emirates), November 18-20, pp: 129. 978-1-4244-1841-1/08/\$25.00©2008 IEEE.
- Mechta, D., Djoudi, M., Harous, S., Douar, A. (2007b). Design and Development of a Prototype of a Practical Work Template for a Virtual Laboratory. IIWAS2007-the Ninth International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services, Yogyakarta (Indonesia), December 03-05, pp: 437-443.
- Mechta, D., Harous, S., Djoudi, M., Douar, A. (2010). A collaborative learning environment for a Biology practical work, IIWAS'2010- 12th International Conference on Information Integration and Web-based Applications and Services, Paris, France, 08-10 Nov.
- Mechta, D., Harous, S., Djoudi, M., Douar, A. et Belmahdi, R. (2011). Supervision and Control Tool for E-learning Virtual Laboratory. Innovations'11- 7th International Conference on Innovations in Information Technology, Abu Dhabi (United Arab Emirates), April 25-27.
- Mechta, D., Harous, S., Djoudi, M., Douar, A. (2012). Supervision and Control Tool for Collaborative Virtual Laboratory, Journal of Software (JSW), Vol 7, N° 7, Jul 2012, ISSN: 1796-217X, doi: 10.4304/jsw.7.7. 1496-1504.

- Meyer, B. (1990). Conception et programmation par objets pour du logiciel de qualité. Inter Editions, Paris, pp.67-70.
- Mhiri Sellami H., (2005). Gestion de portfolio. CEMAFORAD-2, Seconde édition : 12,13 et 14 Novembre, Bejaia.
- Muller, F., (1999). Vers une évaluation personnalisée. Apprendre, revue Sciences Humaines, 98 : 30-33.
- Neau, N. (2003). ArgoGraph : Un support au débat scientifique dans le cadre de travaux pratiques pour l'apprentissage des sciences expérimentales. Thèse de doctorat en informatique. Le Mans : Université du Maine, P 287.
- Nedic, Z., Machotkd, J., Najhlsk, A. (2003). Remote laboratories versus virtual and real laboratories. 33rd ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, 5-8 Novembre, Boulder, CO, États-Unis d'Amérique, pp. T3 E1 à T3 E6.
- Nersessian, N. J. (1991). Conceptual change in science and in science education. In History, Philosophy, and Science Teaching, M. R. Matthews, Ed. OISE Press, Toronto, Canada, 133-148.
- Nonnon, P. (2002). Considérations sur la R&D technologique en éducation et l'ExAO. Symposium Technologies informatiques en éducation : perspectives de recherches, problématiques et questions vives, 31 Janvier et 1er Février, Paris.
- Nonnon, P., Leroux, P. (2005). Actes du 8ème colloque francophone de robotique pédagogique 2005. 2-4 Mai, Le Mans, France.
- Odell, J. (2007). FIPA IEEE Foundation For Intelligent Physical Agents.
- Oppenheim, C. Smithson, D. (1999). What is the hybrid library?. Journal of information sciences, vol.25, n°2, p.97-112.
- Panitz, T. (1997). Collaborative versus Cooperative Learning- A Comparison of the Two Concepts which will Help us Understand the Underlying Nature of Interactive Learning. ERIC Clearinghouse .

- Pankov, I., Karaminkova, E. (2004). Virtual laboratory as a tool to increase student's research work. CompSysTech'2004 : International Conference on Computer Systems and Technologies.
- Pernin, J.-P. (1996). M.A.R.S. Un modèle opérationnel de conception de simulations pédagogiques. Thèse de doctorat en informatique. Grenoble: Université Joseph Fourier - Grenoble I, 276 p.
- Perrenoud Ph. (1991). Pour une approche pragmatique de l'évaluation formative. Mesure et évaluation, vol. 13, n° 4.
- Prévôt, P. (1992). Un tuteur intelligent pour la formation industrielle. Application à l'intégration d'un didacticiel cimentier. Workshop of Thunder Bay, pp. 20-39.
- Rickel, J., et al. (2001). Steve goes to bosnia: Toward a new generation of virtual humans for interactive experiences. In AAAI spring symposium on artificial intelligence and interactive entertainment.
- Riopel, M., Potvin, P. (2006). Environnement informatisé d'apprentissage de la modélisation scientifique. 5ième colloque, Centre Interuniversitaire de Recherche sur le Télé-Apprentissage, Montréal, Canada : CIRTA.
- Röhrig, C., Jochheim, A. (1999). The Virtual Lab for Controlling Real Experiments via Internet. IEEE International Symposium on Computer-Aided Control System Design (CACSD), 22-27 Août 1999, Hawaii, États-Unis d'Amérique, pp. 279-284.
- Scanlon, E., Morris, E., Di Paolo, T., Cooper, M. (2002). Contemporary approaches to learning science: Technologically-mediated practical work. Studies in Sci. Education 38, 73-114.
- Schneiderman, B. (1992). Designing the User Interface. Reading, Addison-Wesley.
- Schneiderman, B. (1998). Designing the User Interface. Ch. 15 - Information Search and Visualization, Reading, Mass, Addison Wesley, P 638.
- Shin, D., Yoon, E. S., Lee, K. Y., Lee, E. S. (2002). A web-based, interactive virtual laboratory system for unit operations and process systems engineering education: Issues, design and implementation. Computers and Chemical Eng. 26, 2, 319-330.

- Singer, S. R., Hilton, M. L., Schweingruber, H. A. (2005). America's Lab Report: Investigations in High School Science, Committee on High School Science Laboratories: Role and Vision, National Research Council, 254p.
- Song, G., Olmi, C., and Bannerot, R. (2007). Enhancing vibration and controls teachings with remote laboratory experiments. Proc. American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition, ASEE, Honolulu, HI.
- Swinnen, G. (1993). DROSOFly: Programme de simulation expérimentale à vocation pédagogique. Didacticiels 7P Soft.
- Taboy, J.-P. (2006). A community sharing hands-on centers in engineer's training. International journal of online engineering JOE (www.i-joe.org). consulté le 12/12/2006. Vol 2. N°1.
- Tchounikine, P., Baker, M., Balacheff, N., Baron, M., Derycke, A., Guin, D., Nicaud, J-F., Rabardel, P. (2004). Platon-1: quelques dimensions pour l'analyse des travaux de recherché en conception d'EIAH, Département STIC du CNRS. Rapport d'Action Spécifique du CNRS, 19p.
- Vodoz, L., & alii. (2002). NTIC & territoires, enjeux territoriaux des NTIC. Lausanne, CEAT.
- Wagner, B. (1999). From Computer-Based Teaching to Virtual Laboratories in Automatic Control. proc. of 29th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, 10-13 Novembre, San Juan, Puerto Rico, pp. 13D6-6 à 13D6-11.
- Wood, DeLoach, Sparkman. (2001). Multiagent Systems Engineering. s.l. : International Journal.
- Xuemin, C., Gangbing, S., Yongpeng, Z. (2010). Virtual and Remote Laboratory Development: A Review. Earth and Space 2010: Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments © 2010 ASCE.
- Zimmerli, S., Steinemann, M. A., Braun, T. (2003). Resource Management Portal for Laboratories Using Real Devices on the Internet. ACM SIGCOMM Computer Communications Review, 33(3): 145-151.
- Žáková, K., Huba, M., Zemánek, V., Kabát, M. (2000): Experiments in Control Education, IFAC Int. Conf. on Advances in Control Education ACE 2000, Gold Coast, Australia.

Liste des publications personnelles

Publications dans des revues internationales

1. **Mechta, D.**, Harous, S., Djoudi, M., Douar, A. (2012). Supervision and Control Tool for Collaborative Virtual Laboratory, Journal of Software (JSW), Vol 7, N° 7, Jul 2012, ISSN: 1796-217X, doi: 10.4304/jsw.7.7.1496-1504.
2. Harous, S., **Mechta, D.**, Djoudi, M., Douar, A. (2008). Agent-Based Approach for Designing and implementing a Virtual Laboratory. International Journal of Mathematics and Computer Science (IJMCS), ISSN: 1814-0424, Vol. 3, No. 2, 127-140.

Communications dans des conférences internationales

1. **Mechta, D.**, Harous, S., Djoudi, M., Douar, A. et Belmahdi, R. (2011). Supervision and Control Tool for E-learning Virtual Laboratory, Innovations'11- 7th International Conference on Innovations in Information Technology, Abu Dhabi (United Arab Emirates), April 25-27.
2. **Mechta, D.**, Harous, S., Djoudi, M., Douar, A. (2010). A collaborative learning environment for a Biology practical work, IIWAS'2010- 12th International Conference on Information Integration and Web-based Applications and Services, Paris, France, 08-10 Nov.
3. Douar, A., Harous, S., Djoudi, M., **Mechta, D.** (2009). An Interactive 3D Distributed Environment for Distance Practical Works. The 6th International Conference on Innovations in Information Technology (Innovations'09), Al Ain, UAE, December 15-17.
4. **Mechta, D.**, Harous, S., Djoudi, M., Douar, A. (2009). Distance Learning and E-education Agents Based Modeling of Distant Biology Practical Work. The 4th International Conference on Information Technology (ICIT 2009), Amman, Jordan, June 3rd – 5th.
5. **Mechta, D.**, Harous, S., Djoudi, M., Douar, A. (2007). Design and Development of a Prototype of a Practical Work Template for a Virtual Laboratory. IIWAS2007 : 9th

International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services, Jakarta, Indonesia , 3-5 December.

6. **Mechta, D.**, Harous, S., Djoudi, M., Douar, A. (2007). An Agent-Based Approach for Designing and Implementing a Virtual Laboratory. 4th International Conference on Innovations in Information Technology (Innovations'07), ISBN: 978-1-4244-1840-4, Dubai, United Arab Emirates, November 18-20, 496-500.
7. Douar, A., Harous, S., Djoudi, M., **Mechta, D.** (2007). Modélisation d'un environnement virtuel pour les TELE-TP par la réalité virtuelle. International Conference on Computer Integrated Manufacturing CIP'2007, 3-4 Novembre.
8. Harous, S., Douar, A., Djoudi, M., **Mechta, D.** (2006). Design of Ergonomic Interfaces. The International Workshop on Trustworthy Ubiquitous Computing (TwUC2006) Yogyakarta, Indonesia, December 4-6, 413-419.
9. Harous, S., **Mechta, D.**, Djoudi, M., Douar, A. (2006). A Multi-Agents System to Support a Virtual Laboratory. IIWAS'2006 - The Eighth International Conference on Information Integration and Web-based Applications Services, Yogyakarta, Indonesia. ISBN 3-85403-214-5, 4-6 December, 477-484.
10. Harous, S., **Mechta, D.**, Djoudi, M. (2006). Documentation Tool: An Object oriented Model for Electronic Library Management. EEE'06- The 2006 International Conference on e-Learning, e-Business, Enterprise Information Systems, e-Government, and Outsourcing, Las Vegas, Nevada, USA, June 26-29, 202-208.
11. Douar, A., Harous, S., Djoudi, M., **Mechta, D.** (2006). La réalité virtuelle pour la conception des interfaces ergonomiques. Conférence Internationale sur l'Informatique et ses Applications, CIIA'2006, Saida - Algérie, May 15-16.
12. **Mechta, D.**, Harous, S., Djoudi, M., Douar, A. (2006). Conception d'un système multi-agents pour le soutien des Télé-TP sur Internet dans un laboratoire virtuel. Conférence Internationale sur l'Informatique et ses Applications, CIIA'2006, Saida - Algérie, 15-16 mai.

Communications dans des congrès nationaux (avec comité de lecture).

13. Douar, A., Djoudi, M., Harous, S., **Mechta, D.** (2006). Réalité virtuelle au service de l'apprentissage sur le Web. Journées d'étude sur les TIC, JeTIC2006, Bechar, Algérie, 15-16 Avril.
14. **Mechta, D.**, Djoudi, M., Harous, S., Douar, A. (2006). Laboratoire virtuel de TéléTP sur Internet. Journées d'étude sur les TIC, JeTIC2006, Bechar, Algérie, 15-16 Avril.

Annexes

Annexe 1 : La version Web de CVL@b

Nous avons fait une intégration partielle de CVL@b sur le Web. Pour cela, nous avons créé des interfaces Web basées sur JSP et servlets. Le package `jade.wrapper.gateway` contient des classes utilitaires telles que `JadeGateway` et `GatewayAgent`. La figure 83 décrit la communication entre les agents et les servlets.

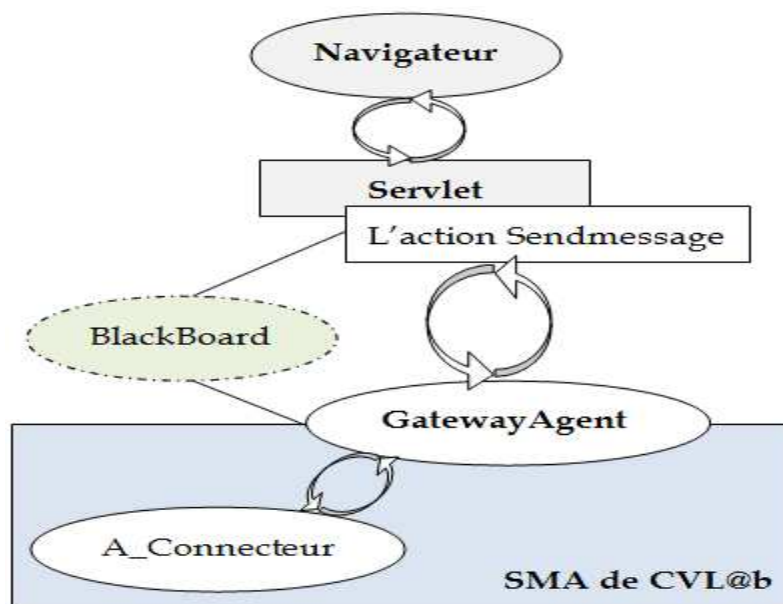


Figure 83. *Structure du système*

Le navigateur s'exécute sur le poste client. Le Servlet s'exécute dans notre serveur d'applications. A_Connecteur existe déjà dans notre SMA de CVL@b. Le BlackBoard est un objet créé par le servlet et utilisé comme un canal de communication entre le servlet

et GatewayAgent. Le GatewayAgent est aussi créé par le servlet et se charge de décoder le message (extraction du destinataire et le contenu du message).

Quelques écrans après l'intégration de CVL@b. Il reste d'autres systèmes qui n'ont pas été intégrés tels que celui de l'espace de travail, supervision, etc.

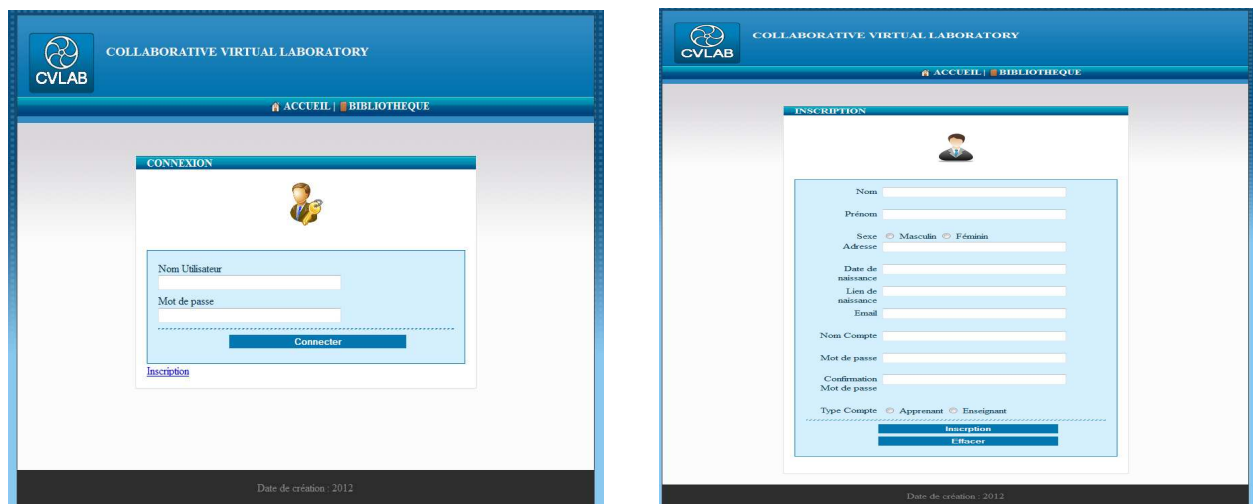


Figure 84. Connexion et inscription



Figure 85. Espace apprenant


ESPACE APPRENANT

Bienvenue, App1
 Profile
 Déconnecter

ACCUEIL | BIBLIOTHEQUE

OPERATION

- Boite de réception
- Ecrire un message
- Contenu pédagogique
- Rapport
- Réalisation Télé-TP

CHAT

App1: Salut
App2: Salut
App3: Salut

App1: On utilise trois types de solution:

1. Une solution de la protéine dont on veut déterminer la concentration.
2. Une solution de concentration

Envoyer

Contenu

[Modules>Chapitres>Télé-TP](#)

ANNEE UNIVERSITAIRE: 2012/2013

Date Dépot: 13-10-2012 **Faculté :** Technologie
Date Remise: 09-07-2008 **Département :** Biochimie
Durée: 120 mn **Enseignant :** Ens 1
Nombre d'apprenants par groupe: 3

LA CHROMATOGRAPHIE D'ECHANGE

Objectif TP:
 Apprendre la méthode de détermination de la concentration d'un protéine par dosages calorimétriques

Rappel du cours:
 Voir le cours.

Figure 86. Consultation du scénario pédagogique


ESPACE APPRENANT

Bienvenue, App1
 Profile
 Déconnecter

ACCUEIL | BIBLIOTHEQUE

OPERATION

- Boite de réception
- Ecrire un message
- Contenu pédagogique
- Rapport
- Réalisation Télé-TP

CHAT

App1: Salut
App2: Salut
App3: Salut

App1: On utilise trois types de solution:

1. Une solution de la protéine dont on veut déterminer la concentration.
2. Une solution de concentration

Envoyer

Contenu

LA LISTE DES MESSAGES (2)

N°	Expéditeur	Date	Objet	Actions
1	App1	2012-06-02	Message 1	
2	App1	2012-06-11	Message 2	

Date de création : 2012

Figure 87. Messagerie électronique

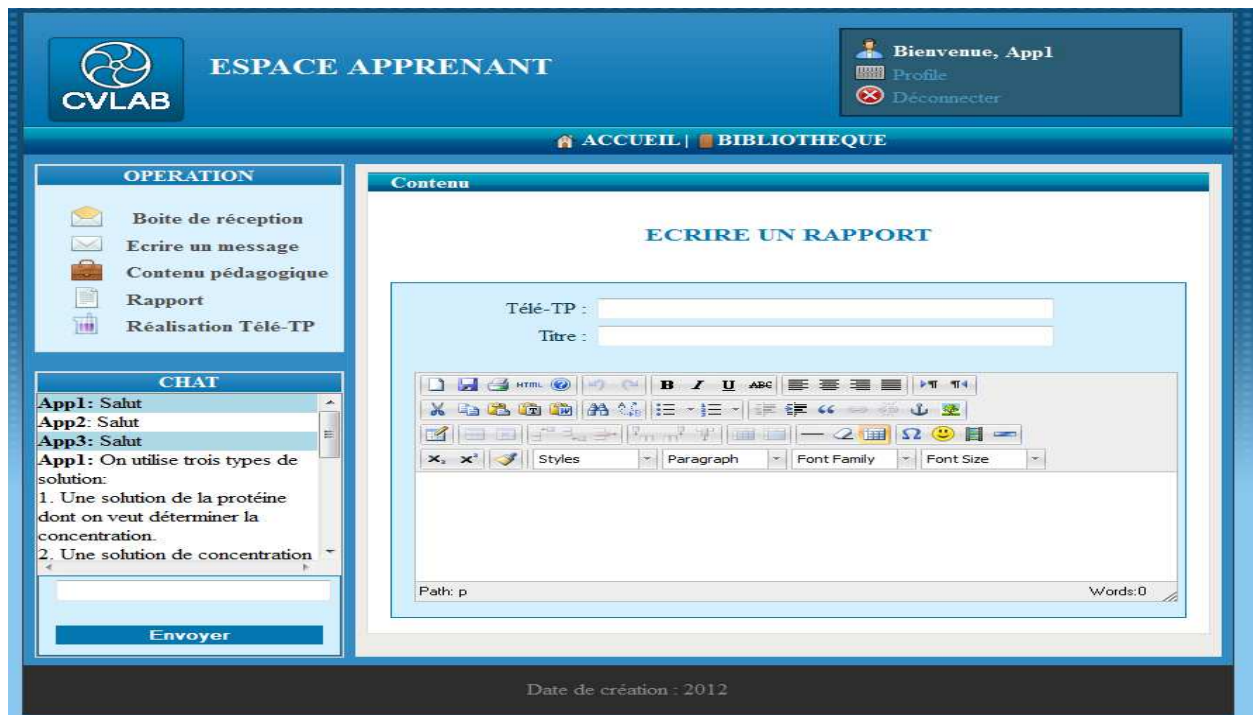


Figure 88. Rédaction du compte rendu



Figure 89. Espace enseignant

Annexe 2 : Environnement de développement

- Choix de l'approche agent : Tout d'abord, au point de vue programmation, nous trouvons un intérêt d'utiliser les agents. En effet, la notion d'agent s'étend sur celle d'objet. Un agent est plus qu'un objet dans le sens où il est responsable de son comportement et qu'il est guidé par un but. Un agent est donc plus autonome qu'un objet. Dans (Ferber, 1995), Ferber parle alors d'une nouvelle méthodologie de programmation qu'il nomme « orientée agent ». Dans ce sens, il est plus facile de faire évoluer un système ayant une architecture multi-agents. En effet, dans tel système, il est possible d'ajouter de nouveaux agents ou de modifier le comportement des agents sans toucher à la structure générale. Nous nous sommes aussi intéressés aux systèmes multi-agents pour les raisons suivantes :

- Les systèmes d'apprentissage à distance sont ouverts, dynamiques et complexes.
- La distribution des données, contrôle et l'autonomie.
- La réutilisabilité et l'extensibilité.

SMA JADE : Le meilleur moyen pour construire un système multi-agent est d'utiliser une plate-forme qui représente un ensemble d'outils nécessaires à la construction et à la mise en service d'agents. La plate-forme JADE¹⁵ (Java Agent DEvelopment framework) est utilisée et ce choix est motivé comme suit :

- Une plate-forme générique de conception et d'exécution de systèmes multi-agents.
- La plate-forme JADE permet le développement de systèmes multi-agents et d'applications conformes aux normes FIPA. Elle possède trois modules principaux nécessaires; DF « Director Facilitator » qui fournit un service de « pages jaunes » à la plate-forme. ACC « Agent Communication Channel » qui gère la communication entre les agents. AMS « Agent Management System » supervise

¹⁵ <http://jade.tilab.com>

l'enregistrement des agents, leur authentification, leur accès et l'utilisation du système.

- Elle est implémentée en JAVA et fournit des classes génériques pour faciliter la création des systèmes multi-agents en JAVA.
- Elle facilite la création des systèmes distribués basés sur les systèmes multi-agents et gère la communication entre les différents systèmes multi-agents réparties dans le Web via le protocole IIOP¹⁶.
- La communication entre les agents artificiels est basée sur les protocoles de communication inter-agent qui suivent le modèle du standard FIPA ACL (Odell, 2007).
- Elle offre une interface graphique utilisateur pour gérer et contrôler la société d'agents du système.

NetBeans : L'EDI NetBeans est un environnement de développement ; un outil pour les programmeurs pour écrire, compiler, déboguer et déployer des programmes. Il est écrit en Java, mais peut supporter n'importe quel langage de programmation. Il y a également un grand nombre de modules pour l'étendre. L'EDI NetBeans est un produit gratuit, sans aucune restriction quant à son usage.

- Type : Environnement de développement
- Version utilisé : 7.0.1
- Licence : CDDL
- Site Web : <http://www.netbeans.org>

¹⁶ Le protocole IIOP (Internet Inter-ORB Protocol): Protocole de communication permettant d'intégrer et de mettre en réseau des applications de provenances diverses.

SPSS version 17.0.0 : Il s'agit d'un logiciel de statistiques.

SGBD MySQL : MySQL est un gestionnaire de base de données libre. Il est très utilisé dans les projets libres et dans le milieu industriel.

- Type : Gestionnaire de base de données
- Version utilisé : 5.0.27-community-log
- Version du Driver JDBC : mysql-connector-java-5.0.4
- Moteur de Stockage :InnoDB
- Licence : GPL
- Site web : <http://www.mysql.com>

Annexe 3 : Partie du code source du système

Nous présentons ce morceau de code source pour l'implémentation du partage du Workspace, l'exclusion mutuelle assurés par l'agent A_Coordinnateur et le comportement de l'agent interface apprenant lors d'une session de Chat.

o Comportement de l'agent interface apprenant (communication)

```
public void action() {
    msg=myAgent.receive(mt);
    if (msg!=null){
        // Gestion des des message
        ContMsg=msg.getContent();
        oper=tempMsg.getOperation(ContMsg); // get required operation
        if (oper.equals("Liste_Noeuds")){
            NewVectNoeud=tempMsg.MsgtoVect(ContMsg);
            ExtactInformation(); // afficher la liste des apprenants online et offline
            //-----> interface
            FentApp.MAJListDiffus(NewVectNoeud);
        }else{
            if (oper.equals("Chat")){
                FentApp.InsrMsgChat(msg.getSender().getLocalName(),tempMsg.getElement(ContMsg,1));
            }else{
                if (oper.equals("Ens_Connecter")){
                    NewVectNoeud.add(tempMsg.getElement(ContMsg,1));
                    // Ajouter login Ens Connecté à la liste de diffusion
                    FentApp.MAJListDiffus(NewVectNoeud);
                    inf.info("<b>Ens est Connecté</b>: "+tempMsg.getElement(ContMsg,1));
                    inf.setVisible(true);
                }else{
                    if (oper.equals("App_Faire_TP")){
                        NewVectNoeud.add(tempMsg.getElement(ContMsg,1));
                        // Ajouter login Ens Connecter a la liste du diffusion
                        FentApp.MAJListDiffus(NewVectNoeud);
                    }
                }
            }
        }
    }
}
```

```
inf.info("L'apprenant: <B>" + tempMsg.getElement(ContMsg,1) + "</B> a commencé le  
TP");  
  
inf.setVisible(true);  
  
}else{  
    if (oper.equals("Supervisor")){  
        if(FentApp.CapteurExiste){  
            MsgSend.reset();  
            MsgSend.setConversationId("Supervisor_Temps_Reel");  
            MsgSend.addReceiver(new  
AID("Capteur_" + myAgent.getAID().getLocalName(), AID.ISLOCALNAME));  
            MsgSend.setContent("Supervisor," + tempMsg.getElement(ContMsg,1));  
            myAgent.send(MsgSend);  
        }else{  
            MsgSend.reset();  
            MsgSend.setConversationId("Result_Supervision");  
            MsgSend.addReceiver(new  
AID(tempMsg.getElement(ContMsg,1), AID.ISLOCALNAME));  
            MsgSend.setContent("EchecSupervision,");  
            myAgent.send(MsgSend);  
        }  
    }  
}  
  
}  
  
}  
  
}  
  
block();  
  
}
```

Annexe 4 : Questionnaires

Questionnaire d'évaluation pour les étudiants

Age : ____ans Sexe: ☐ féminin ☐ masculin Expérience informatique : ☐ Moins de 2ans ☐ 2 à 3ans ☐ Plus de 3 ans Avez-vous participé à une séance de TP en présentiel ☐ Oui ☐ Non

Questions	Pas du tout	Moyennement	Beaucoup	Tout à fait
Habituellement :				
- Je me sens à l'aise pour utiliser un ordinateur	☐	☐	☐	☐
- J'aime utiliser des logiciels pédagogiques	☐	☐	☐	☐
Nombre d'étudiants par groupe				
- Qu'est ce que vous pensez par le nombre de groupe	☐	☐	☐	☐
- La répartition des tâches est-il facile	☐	☐	☐	☐
Il est facile de :				
- Visualiser les documents.	☐	☐	☐	☐
- Chercher des documents.	☐	☐	☐	☐
- Comprendre l'énoncé du Télé-TP	☐	☐	☐	☐
L'énoncé est bien organisé	☐	☐	☐	☐
Les interfaces de la BE sont conviviales	☐	☐	☐	☐
L'espace de travail				
- offre les outils nécessaires pour un Télé-TP	☐	☐	☐	☐
- Son interface est conviviale	☐	☐	☐	☐
- Est facile à utiliser	☐	☐	☐	☐
Pendant une séance de Télé-TP, j'ai :				
- Aidé mes collègues à clarifier l'énoncé du Télé-TP	☐	☐	☐	☐
- Aidé mes collègues dans la manipulation	☐	☐	☐	☐
- Discuté avec mes collègues/tuteur les résultats obtenus	☐	☐	☐	☐
- Rédigé le compte rendu avec mes collègues	☐	☐	☐	☐

- Partagé l'espace de travail	☐	☐	☐	☐
- Senti que mes collègues sont présents dans mon endroit	☐	☐	☐	☐
Dans CVL@b, je trouve l'outil de communication textuelle synchrone (Chat) :				
- Est facile à utiliser	☐	☐	☐	☐
- Utile	☐	☐	☐	☐
- A une interface conviviale	☐	☐	☐	☐
- Permet de discuter facilement avec le groupe	☐	☐	☐	☐
- Permet de discuter facilement avec le tuteur	☐	☐	☐	☐
Pendant une séance de tutorat, je :				
- Communique bien avec le tuteur	☐	☐	☐	☐
- Suis guidé par le tuteur	☐	☐	☐	☐
- Sens la présence du tuteur malgré la distance	☐	☐	☐	☐
Globalement, CVL@b:				
- Me satisfait	☐	☐	☐	☐
- Est convivial	☐	☐	☐	☐
- Est utile	☐	☐	☐	☐
- Est facile à utiliser	☐	☐	☐	☐
- Remplace le labo réel	☐	☐	☐	☐
- Qualité d'apprentissage (bonne ou mauvaise).	☐	☐	☐	☐

Questionnaire d'évaluation pour les tuteurs

Age : ____ans
 Sexe: ☐ féminin ☐ masculin
 Expérience informatique :
☐ Moins de 2ans
☐ 2 à 3ans
☐ Plus de 3 ans
 Avez-vous participé à une séance de TP en présentiel ☐ Oui ☐ Non

Questions	Pas du tout	Moyennement	Beaucoup	Tout à fait
Il est facile de : - Visualiser les documents. - Chercher des documents. - Comprendre l'énoncé du Télé-TP Le prototype de l'énoncé est bien organisé	☐ ☐ ☐ ☐	☐ ☐ ☐ ☐	☐ ☐ ☐ ☐	☐ ☐ ☐ ☐
- L'espace de travail offre les outils nécessaires pour un Télé-TP - Son interface est conviviale - Est facile à utiliser	☐ ☐ ☐	☐ ☐ ☐	☐ ☐ ☐	☐ ☐ ☐
Dans CVL@b, je trouve l'outil de communication textuelle synchrone (Chat) : - Est facile à utiliser - Utile - A une interface conviviale - Permet de discuter facilement avec le groupe - Permet de discuter facilement avec le tuteur	☐ ☐ ☐ ☐ ☐	☐ ☐ ☐ ☐ ☐	☐ ☐ ☐ ☐ ☐	☐ ☐ ☐ ☐ ☐
L'outil LMS-SCT permet de : - Soutenir le groupe d'apprenant - Contrôler le groupe d'apprenant - Savoir l'état d'avancement des activités du groupe.	☐ ☐ ☐	☐ ☐ ☐	☐ ☐ ☐	☐ ☐ ☐
Globalement, CVL@b: - Me satisfait - Est convivial - Est utile - Est facile à utiliser	☐ ☐ ☐ ☐	☐ ☐ ☐ ☐	☐ ☐ ☐ ☐	☐ ☐ ☐ ☐

Questionnaire d'évaluation pour les enseignants

Age : ____ans
 Sexe: ☐ féminin ☐ masculin
 Expérience informatique :
☐ Moins de 2ans
☐ 2 à 3ans
☐ Plus de 3 ans

Questions	Pas du tout	Moyennement	Beaucoup	Tout à fait
L'éditeur LCMS-PWS :				
- Est facile à utiliser	☐	☐	☐	☐
- Est Utile	☐	☐	☐	☐
- A des interfaces conviviales	☐	☐	☐	☐
Le prototype est				
- Complet (offre toutes les fonctionnalités)	☐	☐	☐	☐
- Générique	☐	☐	☐	☐
Globalement, CVL@b:				
- Me satisfait	☐	☐	☐	☐
- Est convivial	☐	☐	☐	☐
- Est utile	☐	☐	☐	☐
- Est facile à utiliser	☐	☐	☐	☐

Annexe 5 : Méthodologie MaSE

La méthodologie MaSE mise au point par Scott DeLoach et ces collègues au sein du Laboratoire d'Intelligence Artificielle de l'AFIT (Air Force Institute of Technology). Cette méthodologie appartient à la catégorie des méthodologies qui s'inspirent des méthodes de spécification et de développement des systèmes à base d'objets; elle met l'accent sur la façon de coordonner dans les SMA le comportement de chaque agent afin d'obtenir un comportement du système tout entier.

L'objectif de MaSE est d'aider le concepteur à analyser, concevoir et implémenter un SMA à partir d'un cahier des charges initial jusqu'au déploiement; Elle comporte sept étapes regroupées en deux phases, une phase d'analyse et une phase de conception (voir figure 90):

- o La phase d'analyse: a pour but de produire un ensemble de rôles que le système doit remplir pour atteindre ses objectifs. Un rôle est une entité accomplissant une tâche dans le système ; chaque rôle est chargé d'accomplir un objectif ou un sous-ensemble d'objectifs du système.
- o La phase de conception: a pour but de passer à la construction concrète du SMA en assignant des objectifs à des classes d'agents spécifiques; en construisant les communications entre agents; en proposant une architecture interne des agents où sont implémentés; en définissant le nombre et la localisation des agents dans le système.

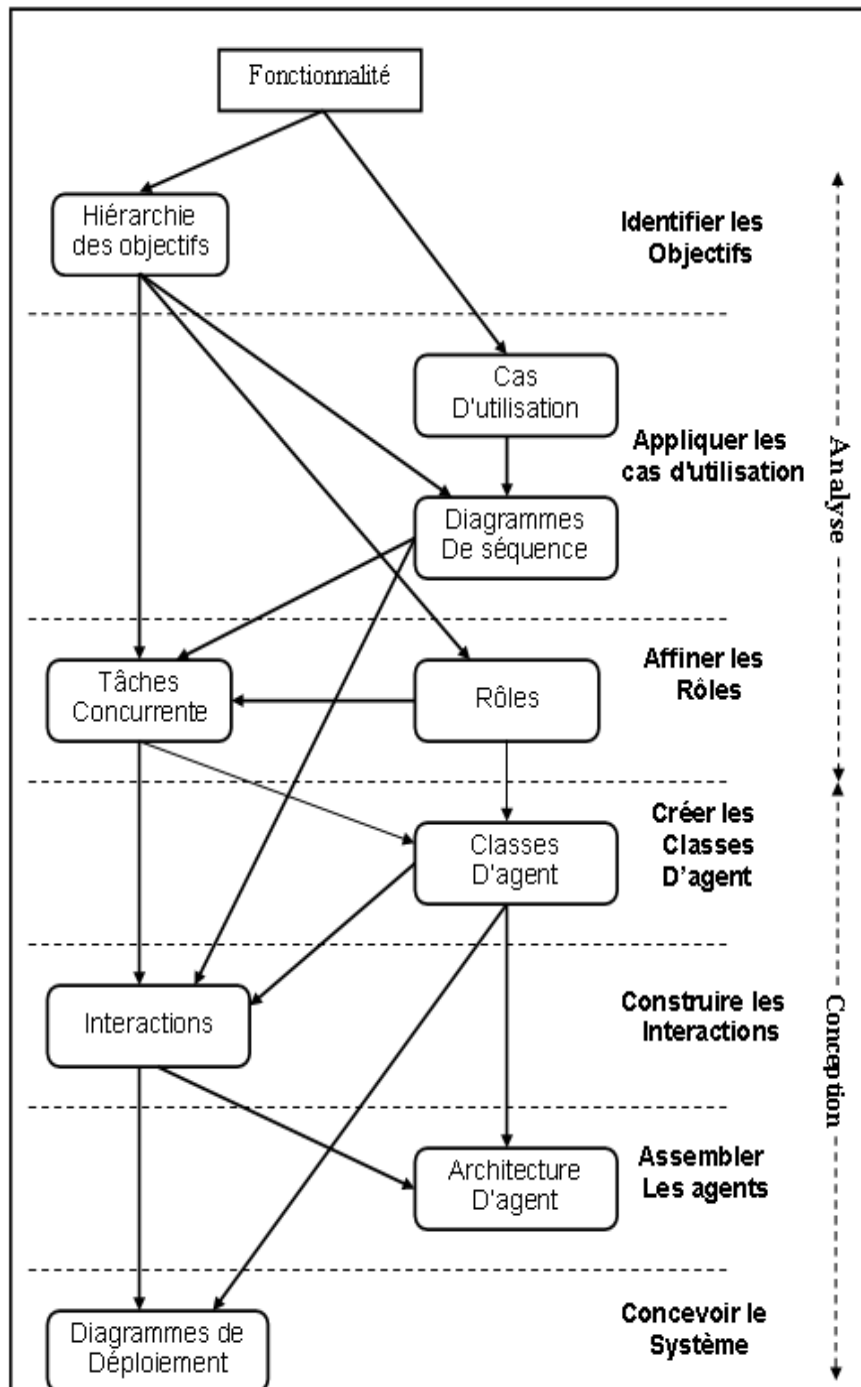


Figure 90. *La méthodologie MaSE*